

WELLINGTON DONIZETE GUIMARÃES

USO DE IMAGENS ORBITAIS PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS EM
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência Florestal, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2002

WELLINGTON DONIZETE GUIMARÃES

USO DE IMAGENS ORBITAIS PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS EM
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência Florestal, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de abril de 2002

Prof. Antônio Simões Silva
(Conselheiro)

Prof. Carlos Antonio A. Soares Ribeiro
(Conselheiro)

Prof. Carlos Pedro Boechat Soares

Prof. Helio Garcia Leite

Prof. Vicente Paulo Soares
(Orientador)

AGRADECIMENTO

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar este treinamento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

À Acesita Energética Ltda., por ter cedido as imagens orbitais usadas no desenvolvimento do trabalho e pelo apoio nos trabalhos de campo, na pessoa dos funcionários Moacir, Andrey e Wadson.

Ao INPE, por ter cedido a imagem CBERS e o *software* SPRING.

Ao professor Vicente Paulo Soares, pela orientação, pelos ensinamentos, pelo incentivo e pela confiança.

Aos professores Antônio Simões Silva e Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro, pelos ensinamentos e pelas sugestões que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos professores Helio Garcia Leite e Carlos Pedro Boechat Soares, por participarem da Banca Examinadora e pelas sugestões e contribuições, principalmente na análise estatística dos dados.

Aos professores José Carlos Ribeiro e Mauro Homem de Melo, pelos ensinamentos.

Aos professores Joel Gripp Júnior, Carlos Antônio Oliveira Vieira e Antônio Santana Ferraz, do Departamento de Engenharia Civil, pelo apoio.

Aos amigos Marina Vilela, Ângelo Sartori Neto e Darly Senna Júnior, pelo apoio e pelo incentivo.

À Engenheira-Agrônoma Tânia de Oliveira Noronha, pelo apoio, incentivo e carinho durante mais esta jornada.

Aos meus pais Alicimar e Dauro e ao meu irmão Wesley, pelo carinho, apoio, incentivo e pela compreensão diante das horas de convívio perdidas.

Ao Engenheiro Florestal Gilciano Saraiva Nogueira, pela colaboração na análise estatística dos dados.

À Ritinha, secretária da pós-graduação, e aos funcionários da Biblioteca da SIF, pela atenção e ajuda.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Wellington Donizete Guimarães, filho de Dauro Divino Guimarães e Alicimar Machado Borges, nasceu em 7 de outubro de 1973, em Rio Verde, Estado de Goiás.

Graduou-se em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa em agosto de 1999. No mês de outubro daquele ano, ingressou na CPE Engenharia Ltda., onde trabalhou até iniciar o mestrado em Ciência Florestal, em março de 2000.

CONTEÚDO

<i>LISTA DE QUADROS</i>	<i>vii</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>ix</i>
<i>RESUMO</i>	<i>xii</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xiv</i>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A exploração florestal	4
2.1.1 Origem	4
2.1.2 O reflorestamento em Minas Gerais	5
2.1.3 A Política Florestal	5
2.2 A importância da base cartográfica	6
2.3 Sensoriamento Remoto	8
2.3.1 Conceito e breve histórico	8
2.3.2 Aquisição de informações	9
2.3.3 Vantagens	10
2.3.4 Aplicações	11
2.3.5 Os satélites Landsat	12
2.3.6 O CBERS-1	13
2.3.6.1 Perspectivas do programa CBERS	13
2.4 O Sistema de Posicionamento Global - GPS	14
2.5 Sistemas de projeção	15
2.5.1 Classificação dos sistemas de projeção	16
2.5.2 Coeficientes de deformação	16
2.5.3 O sistema UTM	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	22
3.2 Material	24
3.2.1 Cartas	24
3.2.2 Imagens de satélite	24
3.2.3 Receptor GPS	24

3.2.4	Sistemas computacionais e equipamentos utilizados	24
3.3	Metodologia	25
3.3.1	Dados de referência	25
3.3.2	Determinação das áreas de eucaliptais através de imagens orbitais	27
3.3.2.1	Digitalização em mesa	27
3.3.2.2	Digitalização em tela	29
3.3.3	Estudo do coeficiente de deformação superficial para o sistema UTM	32
3.4	Análise dos dados	32
3.4.1	Classes de talhões	32
3.4.2	Cálculo dos erros	33
3.4.3	Agrupamento dos talhões em classes de erro e área	33
3.4.4	Análise estatística	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	Avaliação individual de cada método	36
4.1.1	Digitalização em mesa da carta-imagem Landsat-7	36
4.1.2	Digitalização em tela da imagem Landsat-7	52
4.1.3	Digitalização em tela da imagem CBERS-1 CCD	65
4.2	Avaliação conjunta dos métodos	79
4.3	Análise estatística da digitalização	81
4.4	Análise do coeficiente de deformação superficial do sistema de projeção UTM	84
4.4.1	Avaliação gráfica	84
5.	RESUMO E CONCLUSÕES	87
5.1	Conclusões sobre a digitalização	87
5.2	Conclusões sobre o coeficiente de deformação superficial do sistema de projeção UTM	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
	APÊNDICE	93
	Digitalização em mesa da imagem LANDSAT-7	94
	Digitalização em tela da imagem LANDSAT-7	99
	Digitalização em tela da imagem CBERS-1	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do sensor Landsat-7 ETM+ _____	12
Quadro 2 - Características dos sensores a bordo do satélite CBERS-1 _____	13
Quadro 3 - Esquema de classificação dos sistemas de projeção _____	16
Quadro 4 - Classes de talhões classificados quanto à disposição espacial _____	33
Quadro 5 - Regra de decisão proposta por LEITE & OLIVEIRA (2002) para comparar dois vetores de dados quantitativos _____	35
Quadro 6 - Distribuição de frequência dos erros em classes com amplitude de 5% _____	44
Quadro 7 - Erro médio e desvio-padrão cometidos na digitalização da carta-imagem _____	44
Quadro 8 - Síntese do Quadro 6, com os valores dos erros tomados em módulo _____	45
Quadro 9 - Distribuição de frequência das áreas dos talhões em classes com amplitude de cinco hectares e estatísticas do erro dentro de cada uma delas _____	48
Quadro 10 - Distribuição de frequência dos erros em classes com amplitude de 5% _____	57
Quadro 11 - Erro médio e desvio-padrão cometidos na digitalização em tela da imagem Landsat-7 _____	57
Quadro 12. Síntese do Quadro 10, com os valores dos erros tomados em módulo _____	58
Quadro 13 - Distribuição das áreas dos talhões em classes com amplitude de cinco hectares e estatísticas do erro dentro de cada uma delas. _____	61
Quadro 14 - Distribuição de frequência dos erros em classes com amplitude de 5% _____	70
Quadro 15 - Erro médio e desvio-padrão cometidos na digitalização em tela da imagem CBERS-1 _____	70
Quadro 16 - Síntese do Quadro 14, com os valores dos erros tomados em módulo _____	72
Quadro 17 - Distribuição das áreas dos talhões em classes com amplitude de cinco hectares e estatísticas do erro dentro de cada uma delas _____	75
Quadro 18 - Comparação entre as áreas obtidas via digitalização da imagem Landsat (em mesa e em tela) com a referência, e as correspondentes diferenças percentuais, considerando-se os 254 talhões digitalizados _____	79
Quadro 19 - Comparação entre as áreas obtidas via digitalização das imagens Landsat (em mesa e em tela) e CBERS1 (em tela) com a referência, e as correspondentes diferenças percentuais, considerando-se os mesmos 51 talhões da amostra para cada uma das metodologias _____	80
Quadro 20 - Comparação entre os diversos métodos de obtenção das áreas e a referência, considerando-se os 254 talhões digitalizados e suas subdivisões em classes _____	82

Quadro 21 - Comparação entre os diversos métodos de obtenção das áreas de cada talhão e a referência, considerando-se os 51 talhões digitalizados segundo o sorteio e suas subdivisões em classes	83
Quadro 1A - Áreas dos talhões da carta-imagem digitalizados em mesa	93
Quadro 2A - Áreas dos talhões da imagem Landsat digitalizados em tela	98
Quadro 3A - Áreas dos talhões da imagem cbers-1 digitalizados em tela	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes básicos do sistema de aquisição de informações por Sensoriamento Remoto.	9
Figura 2 - Retângulo infinitesimal representado na superfície de referência e a sua projeção no cilindro.	17
Figura 3 - Triângulos infinitesimais representados na esfera-modelo e no plano.	18
Figura 4 - Localização da área de estudo.	23
Figura 5 – Mapa dos 270 talhões de eucaliptos, obtido utilizando o GPS ProXLS.	26
Figura 6 - Mapa dos 254 talhões de eucaliptos, resultante da digitalização em mesa da imagem Landsat-7 ETM+.	28
Figura 7 - Mapa dos 254 talhões de eucaliptos, resultante da digitalização em tela da imagem Landsat-7 ETM+.	30
Figura 8 - Mapa dos 51 talhões de eucaliptos, resultante da digitalização em tela da imagem CBERS-1 CCD.	31
Figura 9 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando todos os talhões.	38
Figura 10 - Esquema comparando os limites dos talhões de referência e os digitalizados.	39
Figura 11 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando apenas os talhões internos.	40
Figura 12 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando apenas os talhões de borda.	41
Figura 13 - Distribuição de frequência dos erros, considerando classes com amplitude de 5%.	45
Figura 14 - Distribuição espacial dos erros, agrupados segundo a sub e superestimação dos talhões.	46
Figura 15 - Distribuição espacial dos erros, considerados em valores absolutos.	47
Figura 16 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área digitalizada em mesa, considerando-se todos os talhões.	49
Figura 17 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área digitalizada em mesa, considerando-se apenas os talhões internos.	50

Figura 18 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área digitalizada em mesa, considerando-se apenas os talhões de borda.	51
Figura 19 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se todos os talhões.	54
Figura 20 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando apenas os talhões internos.	55
Figura 21 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se apenas os talhões de borda.	56
Figura 22 - Distribuição de frequência dos erros, considerando classes com amplitude de 5%.	58
Figura 23 - Distribuição espacial dos erros, agrupados segundo sub e superestimação dos talhões.	59
Figura 24 - Distribuição espacial dos erros, considerados em valor absoluto.	60
Figura 25 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se todos os talhões.	62
Figura 26 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões internos.	63
Figura 27 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões de borda.	64
Figura 28 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em tela da imagem CBERS-1 em relação ao tamanho dos talhões, considerando todos os talhões.	67
Figura 29 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em tela da imagem CBERS-1 em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se apenas os talhões internos.	68
Figura 30 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em tela da imagem CBERS-1 em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se apenas os talhões de borda.	69
Figura 31 - Distribuição de frequência dos erros, considerando-se classes com amplitude de 5%.	72
Figura 32 - Distribuição espacial dos erros, agrupados segundo sub e superestimação dos talhões.	73
Figura 33 - Distribuição espacial dos erros, considerados em valor absoluto.	74
Figura 34 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis áreas de referência e área medida, considerando-se todos os talhões.	76
Figura 42 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões internos.	77
Figura 36 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões de borda.	78
Figura 37 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a latitude constante (17° 20' 00") e variando a distância ao meridiano central.	84
Figura 38 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a latitude constante (30° 00' 00") e variando a distância ao meridiano central.	85
Figura 39 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a distância ao meridiano central constante (180.000 m) e variando a latitude.	86

Figura 40 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a distância ao meridiano central constante (334.000 m) e variando a latitude. 86

RESUMO

GUIMARÃES, Wellington Donizete, M. S. Universidade Federal de Viçosa, abril de 2002. **Uso de imagens orbitais para determinação de áreas em povoamentos de eucalipto.** Orientador: Vicente Paulo Soares. Conselheiros: Antônio Simões Silva e Carlos Antonio A. Soares Ribeiro.

O presente trabalho foi realizado em uma área de plantios de eucalipto de propriedade da Acesita Energética Ltda. Os plantios estão localizados nos municípios de Turmalina, Minas Novas, Veredinha e Capelinha, em Minas Gerais, e compreendem uma área de aproximadamente 6.829 ha. O estudo teve como objetivo principal avaliar a viabilidade técnica da adoção de imagens orbitais dos satélites Landsat-7 ETM+ e CBERS-1, que possuem, respectivamente, 15 e 20 m de resolução espacial, para o mapeamento geodésico dos talhões de eucalipto. Como objetivo secundário, avaliou-se o comportamento do coeficiente de deformação superficial do sistema de projeção UTM. Foram empregadas duas metodologias de digitalização – em mesa e em tela. A correção geométrica foi feita por meio de pontos de controle obtidos em campo, através do GPS Pro-XLS. A digitalização em mesa foi feita sobre uma imagem impressa em papel fotográfico das bandas 3, 4 e 5, utilizando-se uma mesa formato A0. Para digitalização em tela, o *software* utilizado foi o SPRING 3.4. Duzentos e cinquenta e quatro talhões foram digitalizados na carta-imagem e na imagem digital Landsat. Para a imagem digital CBERS-1 foram digitalizados 51 talhões. A área de cada talhão foi calculada e comparada com os valores tomados como referência, fornecidos pela Acesita, os quais foram obtidos via GPS (precisão de 0,5 m). A análise do comportamento do erro (diferença entre a área medida em mesa ou em tela e a medida via GPS) foi feita a partir de análises

estatísticas e da espacialização dos dados, por meio do SIG. A análise do coeficiente de deformação superficial foi realizada partindo-se do modelo proposto por RICHARDUS & ADLER (1974) e consistiu basicamente da análise através de gráficos. Com base nos resultados obtidos, para a etapa de avaliação dos erros cometidos na obtenção de áreas de talhões a partir da digitalização de imagens orbitais, pôde-se concluir que: não se aconselha o mapeamento de divisas com essa metodologia, uma vez que elas requerem maior exatidão; levantamentos expeditos ou de reconhecimento podem ser realizados com qualquer uma das metodologias; e a escolha entre as imagens Landsat e CBERS1 deverá contemplar, considerando-se o objetivo de uso, outros aspectos, como custo e resolução radiométrica. Com relação ao coeficiente de deformação superficial do sistema de projeção UTM, pôde-se concluir que o crescimento da deformação superficial é bem mais lento na direção norte-sul do que na direção leste-oeste (a variável distância ao meridiano central tem maior influência do que a variável latitude na composição do coeficiente de deformação superficial) e que a ordem de grandeza da deformação superficial para aplicações florestais não é significativa, em relação a um sistema equivalente.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Wellington Donizete, M. S. Universidade Federal de Viçosa, April 2002. **The use of orbital images to determine areas of eucalypt stands.** Adviser: Vicente Paulo Soares. Committee Members: Antônio Simões Silva and Carlos Antônio A. Soares Ribeiro.

The present work was carried out in an eucalypt stand area, belonging to the Acesita Energética Ltda. The stands are located in the municipalities of Turmalina, Minas Novas, Veredinha and Capelinha, Minas Gerais State, Brazil, totalling around 6,829 ha. The main objective of this study was to evaluate the technical suitability of the adoption of orbital images of the Landsat-7 ETM+ and CBERS-1 satellites, with 15 and 20m of spatial resolution, respectively, for the geodesic mapping of eucalypt stands. As a secondary objective, the behavior of the surface deformation coefficient of the UTM projection system was evaluated. Two digitalization methodologies were used – on digitizing tablet and screen. The geometric correction was made through control points obtained at the field with the Pro-XLS GPS. The digitalization on digitizing tablet was made on an image printed on photographic paper of 3, 4 and 5 bands, using an A0 size table. For the screen digitalization, the software used was SPRING 3.4. A total of 254 stands were digitalized on the image-map and on the Landsat digital image. For the CBERS-1 digital image 51 stands were digitalized. The area of each stand was calculated and compared with values taken as reference, provided by the Acesita, obtained via GPS (0.5m accuracy). The error behavior analysis (difference between the area measured on digitizing tablet or on screen and the measure via GPS) was made from the statistical analysis and data spacialization, through the GIS. The surface deformation coefficient analysis was carried out from

the model proposed by Richardus & Adler (1974), and basically consisted of the analysis through graphs. Based on the results obtained, for the evaluation step of the errors input in the calculation of the stand areas from orbital images, it can be concluded that: it is not recommended to map limits with this methodology since they require a greater accuracy; expedite or recognizing surveys can be carried out with either methodology; considering the objectives of use, the choice between Landsat and CBERS-1 images should take into account other aspects such as costs and radiometric resolution. In relation to the surface deformation coefficient of the UTM projection system, it can be concluded that: the increase on the surface deformation is a great deal slower in the North – South direction than in the East – West direction (the variable distance to the central meridian has more influence than the variable latitude in the composition of the surface deformation coefficient); the value of the surface deformation coefficient for forest use is not significant, in relation to an equivalent system.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal contribui significativamente para o desenvolvimento socioeconômico brasileiro, apresentando grande potencial para induzir o crescimento da economia, por meio de seus efeitos multiplicadores, com aumentos na produção, na geração de emprego, na remuneração dos salários e capital, nas exportações e na redução das importações, melhorando o saldo da balança comercial (VALVERDE, 2000).

Conforme estudo de GARLIPP (1995), a economia florestal brasileira tem sido responsável, anualmente, na formação econômica do País, por aproximadamente 4% do Produto Interno Bruto (PIB), 600.000 empregos diretos, US\$450 milhões em arrecadação de impostos e US\$4,1 bilhões em divisas de exportações. Em valores do ano de 2000, segundo a Revista Móbile (2001), o setor florestal contribuiu com US\$21 bilhões na formação do PIB, gerou 2 milhões de empregos diretos e indiretos, US\$3 bilhões em impostos recolhidos e US\$4 bilhões em exportações.

A crescente demanda do mercado por produtos que conciliem qualidade e preço impõe às empresas uma procura constante por alternativas tecnológicas que possam agregar valor aos seus produtos e otimizar todos os setores do seu processo produtivo. Em se tratando de empresas do setor florestal, uma atividade que exige o monitoramento contínuo se refere ao inventário de suas áreas plantadas, haja vista o seu caráter dinâmico, caracterizado pela variabilidade de estádios de desenvolvimento e de espécies de cada talhão, áreas afetadas por incêndios, pragas, controle de corte e plantio, entre outros fatores.

Essas características, inerentes aos plantios de eucalipto, inviabilizam o gerenciamento de suas atividades apenas com um banco de dados descritivo, sendo

de suma importância o componente espacial da informação, os quais, juntos, compõem um Sistema de Informações Geográficas. Esse sistema permitirá processar informações espaciais, devendo ser capaz de criar abstrações digitais do real, manejar e armazenar eficientemente dados, de forma a identificar o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais, possibilitando a criação de relatórios e mapas que contribuem para a compreensão holística desses relacionamentos (RIBEIRO et al., 2000). Os resultados decorrentes dos processos de tomada de decisão irão depender, em grande parte, da confiabilidade e adequabilidade dessa base de dados; segundo RIBEIRO et al. (2000), de maneira geral, 75% do orçamento e do tempo de um projeto nessa área são consumidos na fase de sua elaboração.

Uma metodologia usualmente empregada no mapeamento geodésico de áreas utiliza o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Embora essa técnica atenda aos requisitos geométricos de exatidão, ela pode ser onerosa e, principalmente, não conter a riqueza de detalhes e de informações presentes em uma imagem orbital de alta resolução, como, por exemplo, uma imagem do satélite Ikonos – 1 metro no modo pancromático. Estas, apresentam como inconvenientes, o custo elevado e a extensão relativamente pequena das áreas imageadas, contrastando com as extensas áreas cobertas pelos eucaliptais, o que implica uma relação benefício/custo inadequada para o setor.

Como alternativa, pode-se avaliar a utilização de imagens de menor resolução espacial (15 e 20 m), que podem cobrir grandes extensões do terreno. Mesmo com essa resolução, as imagens ainda conterão informações importantes não apenas para o levantamento geodésico das áreas, mas também para suporte ao planejamento, auxiliando no processo de tomada de decisão. Dessa forma, pode-se disponibilizar informações sobre os erros cometidos nas determinações de áreas, para que o tomador de decisão verifique se eles estão dentro de limites aceitáveis para o seu propósito.

Outro aspecto importante relacionado à elaboração de bases cartográficas diz respeito ao sistema de projeção a ser adotado. Muitas vezes negligenciado, devido ao fato de as coordenadas serem obtidas em sistemas locais, a ampla disseminação do GPS vem favorecendo a obtenção de mapeamentos apoiados em pontos geodésicos.

Além do avanço tecnológico, a nova legislação referente ao cadastro de imóveis rurais dará uma nova dinâmica à elaboração de levantamentos. Recentemente, a Lei nº 10.267, aprovada em 28 de agosto de 2001, criou o Cadastro

Nacional de Imóveis Rurais - CNIR, que diz, no seu Art. 3º, § 3º: “nos casos de desmembramento, parcelamento ou remembramento de imóveis rurais, a identificação prevista na alínea “a” do item 3 do inciso II do § 1º - referindo-se a imóvel rural será obtida a partir de memorial descritivo, assinado por profissional habilitado e com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica-ART, contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro e com precisão posicional a ser fixada pelo INCRA...”. Esse cadastro terá base comum de informação e será gerenciado pelo INCRA e pela Secretaria da Receita Federal, sendo produzido e compartilhado pelas diversas instituições públicas federais e estaduais produtoras e usuárias de informação sobre o meio rural brasileiro (SABADOTTO, 2001).

Qualquer que seja o sistema de projeção adotado, será necessário conhecer as suas características e limitações, evitando assim um uso inadequado. No caso do sistema de projeção Universal Transverso de Mercator – UTM, sabe-se que ele é conforme (teoricamente); portanto, não conserva as demais propriedades geométricas de interesse – equivalência e equidistância. Desde que se conheçam o comportamento e o valor da deformação na região de interesse, pode-se inferir a adequabilidade ou não de seu uso.

1.1 Objetivos

Tendo em vista as considerações anteriores, os objetivos principais deste trabalho foram:

- Mapear e quantificar áreas ocupadas por eucaliptais, através de imagens dos satélites Landsat-7 ETM+ e CBERS-1 CCD, obtidas no ano de 2000.
- Determinar a exatidão das delimitações de área feitas por meio das imagens orbitais, utilizando-se o levantamento geodésico feito por GPS como parâmetro.
- Analisar o comportamento das deformações de áreas do sistema UTM perante os sistemas de projeção equivalentes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A exploração florestal

2.1.1 Origem

Segundo GOLFARI (1975), a exploração das matas brasileiras iniciou-se no século XVII, sob forma superficial de extração seletiva, com a procura do pau-brasil, desde a floresta atlântica dos Estados da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro até a mata mineira.

De acordo com Jesus (1993), citado por VALVERDE & SILVA (s/d), o ciclo da cana-de-açúcar, nos séculos XVI e XVII, resultou não só na abertura de grandes áreas para o plantio, mas também na extração de lenha para produção de açúcar. Para o cultivo da cana eram selecionadas as áreas de solos mais férteis, topografia mais plana e de fácil acesso.

No século XVIII, com a atividade extrativa do ouro e posteriormente dos diamantes, surgiram numerosas cidades, como Vila Rica (Ouro Preto), Sabará, Mariana, São João Del Rei, Diamantina, etc.; como consequência, surgiu também a demanda de madeira para construção, móveis e combustível (GOLFARI, 1975).

A partir da primeira metade do século XIX, o desflorestamento se tornou intensivo. Inicialmente, devido à expansão da fronteira agrícola, notadamente as atividades cafeeira – que se estendeu desde o Vale do Paraíba e Leste Paulista até a Zona da Mata mineira – e pecuária. Posteriormente, já no século XX, a produção de carvão vegetal, amplamente utilizado nas indústrias siderúrgicas localizadas em Minas Gerais e estados limítrofes, ampliaria consideravelmente a superfície desmatada (GOLFARI, 1975).

2.1.2 O reflorestamento em Minas Gerais

O início do reflorestamento no Estado se deu em 1944, em um local denominado Fazenda Levantina, situado na Serra da Mantiqueira, entre Camanducaia e Monte Verde, no extremo sudoeste do Estado. Foi implantado pela Companhia Melhoramentos de São Paulo, Indústrias de Papel, sendo a *Araucaria angustifolia* a primeira espécie plantada. Nessa mesma região, outra empresa pioneira, a Klabin Irmãos & Cia., iniciou, em 1955, plantios desta mesma espécie. Em 1948, iniciaram-se as atividades da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, entre Nova Lima e Coronel Fabriciano, com plantios de *Eucaliptus* spp. Posteriormente, esta empresa expandiu suas atividades para Bom Despacho e Várzea da Palma. Nas proximidades de Coronel Fabriciano também foram realizados plantios da Companhia de Aços Especiais Itabira-Acesita. Além das empresas citadas anteriormente, diversas outras tiveram destacado papel: a Companhia Siderúrgica Mannesmann, nas proximidades de Paraopeba; a Florestas Rio Doce S.A., primeira companhia a realizar reflorestamentos com *Pinus* tropicais, cujas atividades iniciaram-se em 1967. Esta companhia também possuía plantios em Santa Bárbara, Barão de Cocais, Nova Era, Conceição do Mato Dentro e Açucena; a Companhia Resa, com plantios situados numa extremidade do Triângulo Mineiro (Chapadão do Bugre); e finalmente as companhias Caxuana S.A. e Florestadora Perdizes, com plantios entre Araxá e Uberlândia (GOLFARI, 1975).

A expansão das atividades de reflorestamento em um estado com características físicas, sociais e econômicas tão heterogêneas é mais bem compreendida num contexto de evolução tecnológica e da política destinada ao setor.

2.1.3 A Política Florestal

De acordo com FRANCOIS (1953), a política florestal nacional tem por princípio garantir ao país uma cobertura florestal adequada, com os objetivos de assegurar a proteção ao clima, ao solo, aos recursos hídricos, de satisfazer as necessidades de madeira de seus habitantes, de seu comércio interno e externo, enfim, com o propósito de usufruir o melhor possível de toda a riqueza florestal de que disponha em benefício geral dos seus habitantes.

Pode ser entendida como o conjunto de ações ou medidas que o Estado adota para salvaguardar os interesses ou objetivos da coletividade sobre as florestas, em face dos múltiplos e variados valores ou funções (VOLPATO et al., 1992).

Sua execução se dará mediante uma legislação adequada, aplicada com vigor e integralmente por órgãos responsáveis imparciais, com liberdade de ação adequada e com respaldo financeiro para estabelecer e assegurar o funcionamento de um corpo técnico-administrativo que garanta sua aplicação (VALVERDE & SILVA, s/d).

A intervenção do Estado para fixar as políticas florestais em propriedades particulares estará unicamente justificada se as florestas oferecerem efetivamente uma utilidade geral e se as más práticas administrativas comprometerem o bem-estar e a prosperidade de todos os habitantes do país. Dessa forma, uma política florestal não é apenas um conjunto de princípios estáticos; ela deverá se desenvolver e evoluir devido a motivos diversos, a fim de satisfazer os anseios da sociedade. Dependerá da natureza dos recursos naturais disponíveis no país e deverá permitir adaptações às peculiaridades de cada região e seguir sempre os princípios das utilidades da floresta e o princípio do desenvolvimento sustentável, sendo este o fim último de toda política florestal (VALVERDE & SILVA, s/d).

Desde o Regimento do Pau-brasil (12/12/1605), que é, provavelmente, o exemplo mais remoto de uma lei florestal para o País (VALVERDE & SILVA, s/d) até os dias atuais, diversas leis foram criadas, mas, no que tange ao reflorestamento, o programa de incentivos fiscais concedidos ao setor talvez tenha sido o seu principal elemento alavancador.

2.2 A importância da base cartográfica

DOLFUSS (1978) define o espaço geográfico como o esteio de sistemas de relações - algumas determinadas a partir dos dados do meio físico e outras provenientes das sociedades humanas - responsáveis pela organização do espaço em função da densidade demográfica, da organização social e econômica e do nível das técnicas.

É nesse espaço que as sociedades humanas se desenvolveram, influenciadas por um jogo de forças naturais e históricas milenares que determinou a demarcação de suas fronteiras políticas e imprimiu-lhes características sociais, econômicas, políticas e culturais próprias (LUCCI, 1990).

A agricultura marca o início da intervenção do homem no ordenamento do meio geográfico (há 6.500 ou 7.000 anos). Essa intervenção aprofunda-se à medida que a população aumenta e a sociedade torna-se mais complexa, juntamente com o avanço tecnológico (LUCCI, 1990).

Como exemplos de sociedades que experimentaram alto grau de desenvolvimento pautadas nesse paradigma citam-se a Egípcia e a Mesopotâmica, que se constituíram, por volta de 3.200 a.C., no Oriente Próximo. O sucesso dessas civilizações está associado a três fatores, que, em conjunto, as influenciaram: as condições naturais favoráveis, utilizadas por uma organização coletiva em estreita ligação com a religião (CROUZET, 1993).

Por imposições de natureza física – mais especificamente as inundações do Nilo, que exigiam a cada ano a redistribuição das terras – e administrativa, já nessa época se verificava uma preocupação com o controle do espaço, que se manifestava em representações esquemáticas de cadastramento, os quais mostravam em tábuas de argila as subdivisões dos campos e as plantas das cidades (DREYER-EIMBCKE, 1992). Inclusive, Heródoto atribuiu aos egípcios a invenção de um método de medir os campos (a agrimensura, segundo os gregos) (OLIVEIRA, 1993).

Segundo OLIVEIRA (1993), o mapa é, de todas as modalidades de comunicação gráfica, uma das mais antigas da humanidade, tendo sido utilizado por todos os povos primitivos, mesmo não conhecendo a escrita.

No âmbito da administração municipal, o conhecimento físico da realidade territorial, expressa por meio de mapas digitais, permitirá aos gestores dos recursos públicos um efetivo controle e planejamento do espaço (IDOETA, 2002).

No âmbito de empresas do setor florestal, observa-se tendência de adoção da Silvicultura de Precisão, que, segundo VETTORAZZI & FERRAZ (2000), pode ser considerada um método de gerenciamento das atividades silviculturais que se baseia na coleta e análise de dados geospaciais, viabilizando intervenções localizadas na floresta, com a exatidão e a precisão adequadas.

2.3 Sensoriamento Remoto

2.3.1 Conceito e breve histórico

Segundo MORAES NOVO (1992), Sensoriamento Remoto pode ser definido como a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Os primeiros registros datam da segunda metade do século XIX, a partir de fotografias aéreas tomadas de balões. Desde então, verificou-se grande avanço nas técnicas de Sensoriamento Remoto, principalmente como subproduto de pesquisas com fins militares (GARCIA, 1982), suportado pelo desenvolvimento tecnológico da Física, Físico-Química, Química, Biociências, Geociências e Ciência da Computação, etc. (MORAES NOVO, 1992).

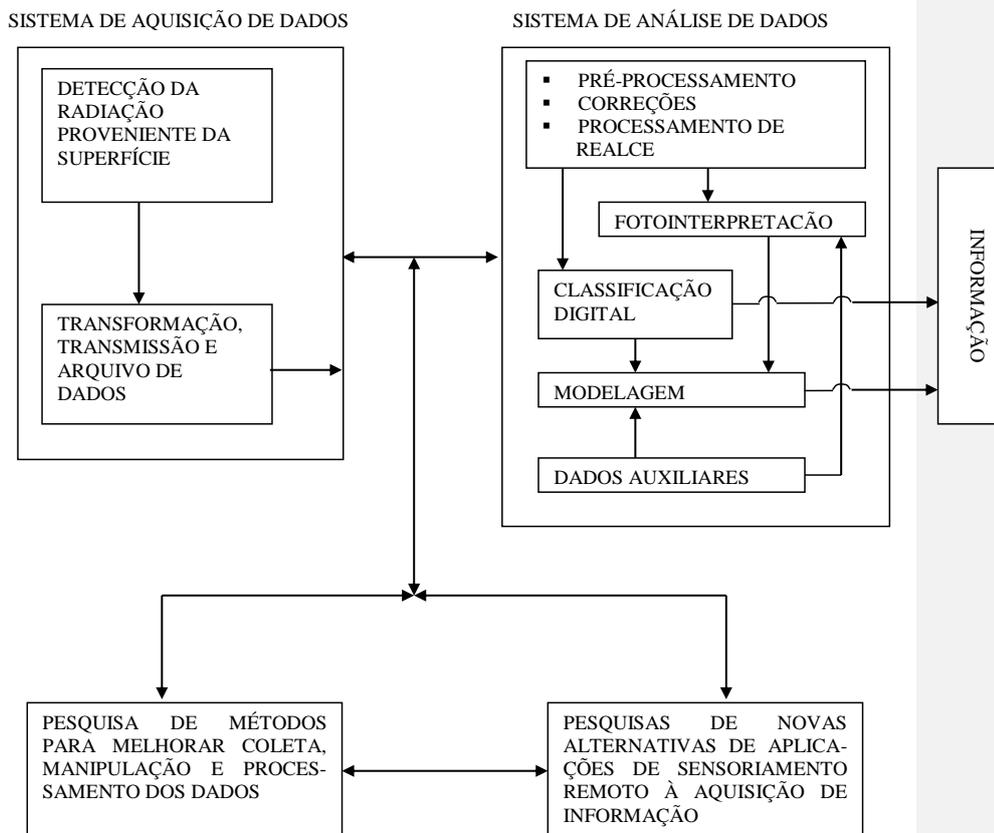
Embora desde 1891 se verifiquem tentativas de colocar sensores em âmbito orbital, foi a partir da década de 60 que se observou significativo avanço no sentido de disponibilização de múltiplos sistemas sensores. Esse avanço esteve atrelado ao desenvolvimento de satélites meteorológicos, como o TIROS-1, lançado em 1960 (LILLESAND & KIEFER, 1994).

Nos 30 anos seguintes, os sensores orbitais digitais foram usados principalmente na coleta de imagens de média e baixa resolução, e somente na última década foram disponibilizados sensores de alta resolução, tanto para plataformas orbitais quanto para as aerotransportadas. Se naquelas o impacto foi muito grande, especialmente com os sistemas LANDSAT, SPOT, e, por último, o IKONOS, nestas não houve significativa alteração, pois os sensores digitais ainda não estavam preparados para competir em resolução espacial e eficiência com as câmaras aéreas convencionais (TOMMASELLI, 2000).

No ano de 2000, no Congresso da ISPRS em Amsterdã, foram apresentadas algumas câmaras digitais com potencial competitivo em relação às aerofotogramétricas convencionais, podendo-se citar as câmaras da *LHSystems, Z/I Imaging e da INPHO* (TOMMASELLI, 2000).

2.3.2 Aquisição de informações

Um sistema de aquisição de informações pode ser subdividido em dois subsistemas: subsistema de coleta de dados e subsistema de análise de dados, conforme indica a Figura 1 (MORAES NOVO, 1992).



Fonte: MORAES NOVO, 1992.

Figura 1 - Componentes básicos do sistema de aquisição de informações por Sensoriamento Remoto.

O produto básico fornecido pelo sensor para a extração de informações constitui a imagem digital, que, segundo GONZALEZ & WOODS (1992), se refere à função bidimensional de intensidade da luz $f(x,y)$, em que x e y denotam as coordenadas espaciais e o valor de f em qualquer ponto (x,y) é proporcional ao nível de cinza da imagem naquele ponto. Esses valores são discretizados tanto em

coordenadas espaciais quanto em brilho, ou seja, a imagem pode ser considerada uma matriz cujos índices de linhas e de colunas identificam um ponto na imagem e o correspondente valor do elemento da matriz identifica o nível de cinza naquele ponto.

Cada um desses elementos recebe o nome de *pixel* (abreviação de *picture elements*) e representa uma determinada área da superfície imageada, o que caracteriza sua resolução espacial, que pode ser entendida como a habilidade para distinguir entre dois objetos muito próximos (GARCIA, 1982).

2.3.3 Vantagens

Como vantagens comparativas associadas às fotografias aéreas, extensíveis às imagens orbitais, em relação a observações terrestres, de certa forma também extensíveis a métodos de mapeamento terrestres, LILLESAND e KIEFER (1994) destacam:

1. Caráter sinóptico – fornecem uma visão de extensas áreas, permitindo ver a superfície terrestre em seu contexto espacial. Todas as feições são registradas simultaneamente. Seria difícil, senão impossível, obter essa visão através de observações terrestres.

2. Capacidade de “parar uma ação” – diferentemente do olho humano, a imagem fornece o registro de um fenômeno dinâmico num dado instante do tempo.

3. Registro permanente – as imagens são registros permanentes de condições existentes. Podem ser estudadas no escritório. Assim, uma única imagem pode ser estudada por vários usuários. Além disso, a comparação com dados adquiridos anteriormente permite o monitoramento de mudanças ao longo do tempo.

4. Ampliação da sensibilidade espectral – permite o registro de informações em comprimentos de onda que vão além do intervalo da visão humana, como as radiações ultravioleta e infravermelha.

5. Aumento da resolução espacial e fidelidade geométrica – a escolha adequada do sensor permite uma ampliação posterior, favorecendo a obtenção de medidas precisas de posições, distâncias, direções, áreas, cotas, volumes e declividades.

2.3.4 Aplicações

Depreende-se da definição, do histórico e das vantagens citadas anteriormente a vasta gama de aplicações do Sensoriamento Remoto, cujo escopo é definido considerando-se o objetivo e a disponibilidade financeira do projeto, bem como as restrições associadas às características do sensor e da plataforma. Estas, de acordo com SLATER (1980), citado por MORAES NOVO (1992), condicionam a extração de informações dos dados de Sensoriamento Remoto através de sua: resolução espacial; resolução espectral; resolução radiométrica; resolução temporal; identificação de aspectos da cena por equipes trabalhando no campo e gerando dados para “treinamento”.

Na literatura encontram-se exemplos de estudos fundamentados no uso do Sensoriamento Remoto nas mais diversas áreas do conhecimento, como: recursos hídricos (identificação e delineamento da rede hidrográfica, avaliação de bacias hidrográficas, água subterrânea e qualidade da água), agricultura (mapeamento de áreas de plantio, diagnóstico da perda do vigor das culturas, estimativa de safra e de biomassa), floresta, geologia, análise e monitoramento do uso da terra, etc.

Inúmeros trabalhos vêm sendo feitos com imagens Landsat nas últimas três décadas para o mapeamento e monitoramento da cobertura terrestre, sendo alguns citados a seguir.

SOARES & HOFFER (1996) utilizaram imagens TM/Landsat para monitorar mudanças em plantações de eucaliptos, através da diferença entre bandas, de imagens obtidas em épocas diferentes. Além dessa modalidade, JENSEN (1986) agrupa as várias técnicas de detecção de mudanças desenvolvidas com o uso de imagens digitais em: razão entre bandas, análise dos componentes principais, classificação espectral/temporal e comparação de classificações individuais.

SKIDMORE (1989) desenvolveu um sistema especialista para classificar tipos de florestas de eucaliptos. Além dos dados do mapeador temático do Landsat, o sistema incorporou informações derivadas do modelo digital de elevação - declividade e orientação - e o conhecimento de campo do responsável pela área para estabelecer as regras norteadoras do processo de classificação.

Outra aplicação importante das imagens orbitais é a atualização de mapas. Diversos órgãos públicos, como IEF, IBAMA e INPE, utilizam-se desse expediente para monitorar queimadas e desmatamentos.

SARTORI NETO (2000) utilizou imagens TM/Landsat-5 para gerar o mapa de vegetação do Parque Nacional Grande Sertão Veredas (noroeste do Estado de Minas Gerais), que compôs a base de dados necessária para elaboração do plano de manejo desse parque.

ARAÚJO et al. (1996) apresentaram uma metodologia para geração de cartas de navegabilidade da Hidrovia do Rio Tocantins utilizando imagens TM/Landsat-5.

MEDEIROS et al. (1996) utilizaram imagens TM/Landsat-5 para estimar áreas de plantio de cana-de-açúcar, milho e soja, nos municípios de Aramina, Buritizal, Ituverava e Ipuã, todos pertencentes ao Estado de São Paulo.

2.3.5 Os satélites Landsat

A série de satélites Landsat foi inicialmente financiada pelo governo dos Estados Unidos, sendo a NASA (National Space and Space Administration) o órgão responsável pelo projeto. O mais recente deles é o Landsat 7, lançado em abril de 1999. Ele pode adquirir imagens numa área que se estende desde 81° de latitude norte até 81° de latitude sul e, obviamente, em todas as longitudes do globo terrestre, apresentando resolução temporal de 16 dias. A cena imageada cobre uma extensão territorial de 185 x 185 km. Utiliza o sensor ETM+, cujas principais características estão ilustradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Características do sensor Landsat-7 ETM+

Bandas	Faixa do espectro (μm)	Resolução espacial (m)
1	0,45 - 0,52 (azul)	30
2	0,53 - 0,61 (verde)	30
3	0,63 - 0,69 (vermelho)	30
4	0,78 - 0,90 (infravermelho próximo)	30
5	1,55 - 1,75 (infravermelho médio)	30
6	10,4 - 12,5 (infravermelho termal)	60
7	2,09 - 2,35 (infravermelho médio)	30
8	0,52 - 0,90 (pancromático)	15

2.3.6 O CBERS-1

O CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) é fruto de um programa de cooperação assinado em 6 de julho de 1988 entre a China e o Brasil para desenvolver dois satélites de observação da Terra. Foi colocado em órbita em 14 de outubro de 1999 e, desde então, fornece imagens sobre a superfície terrestre. Possui três sensores imageadores a bordo, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas: o imageador de visada larga (WFI), a câmara CCD de alta resolução e o varredor multiespectral infravermelho (IR-MSS). O Quadro 2 traz as características dos sensores mencionados.

Quadro 2 - Características dos sensores a bordo do satélite CBERS-1

	CCD	IR-MSS	WFI
Bandas(μm): 1	0,45-0,52	0,50-1,10(pan)	0,63-0,69
2	0,52-0,59	1,55-1,75	0,76-0,90
3	0,63-0,69	2,08-2,35	
4	0,77-0,89	10,40-12,50	
5	0,51-0,73(pan)		
Campo de visada	8,3°	8,8°	60°
Resolução espacial(m)	20	80(pan e IV) 160(termal)	260
Resolução temporal	Nadir: 26 dias fora do nadir: 3 dias ($\pm 32^\circ$)	26 dias	3-5 dias
Largura da visada no solo	113 km	120 km	890 km
Capacidade de apontamento do espelho	$\pm 32^\circ$	-	-

2.3.6.1 Perspectivas do programa CBERS

O programa prevê a construção de mais dois satélites da família CBERS, o CBERS 3 e o CBERS 4, com a substituição da atual câmara CCD por uma outra com resolução de 5 m. Além disso, foi introduzido um satélite extra para permitir a transição suave entre as duas gerações de satélites.

2.4 O Sistema de Posicionamento Global - GPS

As informações contidas em imagens provenientes de sensores orbitais estão dispostas em linhas e colunas, em que cada valor numérico corresponde à resposta espectral do objeto imageado para uma faixa do espectro eletromagnético e a uma área definida pela resolução espacial do sensor. Em geral, as bases de dados geográficos devem ser disponibilizadas de forma que possam ser integradas em um Sistema de Informações Geográficas. Para isso, utiliza-se um sistema de referência associado à terra. A transformação matemática que associa a cada ponto da imagem (interseção entre uma linha e uma coluna) a sua correspondente posição em um sistema de referência é denominada georreferenciamento. Esse procedimento pode ser realizado através de coordenadas coletadas em mapas ou através do sistema GPS.

O sistema GPS, formalmente NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time And Ranging – Global Positionin System), é um sistema de satélites de rádio-navegação que fornece posição em três dimensões para pontos em qualquer parte do planeta. O sistema está sob a responsabilidade do JOINT PROGRAM OFFICE (JPO), localizado na Base Aérea de Los Angeles, EUA. Este órgão foi comissionado em 1973, para desenvolver um moderno sistema de satélite para posicionamento, tendo como resultado o GPS (SILVA, 1998).

A concepção do sistema foi a de um satélite que medisse distâncias de um ponto de coordenadas conhecidas, o satélite, para pontos da terra, do mar e do ar que tivessem suas coordenadas a determinar (SILVA, 1998).

Segundo STAFFORD (1996), o GPS facilita todas as atividades que necessitam de posicionamento, fazendo com que algumas concepções antigas pudessem ser postas em prática. Um exemplo claro disso é o que vem ocorrendo com o desenvolvimento da agricultura de precisão, um conceito estabelecido por volta de 1929 que só agora tem sido posto em prática, graças à integração de várias tecnologias, entre elas o GPS.

Conforme SILVA (1998) e MONICO (2000), o GPS consiste de três segmentos: espacial, controle e usuários.

O segmento espacial consta de 24 satélites, distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, com quatro satélites em cada plano, numa altitude aproximada de 20.200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao

Equador, e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Dessa forma, a posição dos satélites se repete, a cada dia, quatro minutos antes que a do dia anterior. Essa configuração garante que, no mínimo, quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre, a qualquer hora, a 15° acima do plano do horizonte.

MONICO (2000) cita as principais tarefas do segmento de controle:

- monitorar e controlar continuamente o sistema de satélites;
- determinar o sistema de tempo GPS;
- prever as efemérides dos satélites e calcular as correções dos relógios dos satélites; e
- atualizar, periodicamente, as mensagens de navegação de cada satélite.

Segundo SILVA (1998), o segmento de usuários é constituído de todos os equipamentos utilizados para recepção dos sinais GPS. Os receptores GPS se constituem de uma antena, um pré-amplificador e uma unidade receptora onde estão integrados todos os elementos eletrônicos necessários ao controle, registro e visualização dos dados.

Diversas são as técnicas de posicionamento em que se utiliza GPS. Elas podem ser agrupadas em três categorias: posicionamento absoluto, posicionamento relativo e posicionamento diferencial (DGPS). A escolha do método dependerá dos requisitos de precisão da aplicação.

Uma das aplicações do GPS é no levantamento de áreas de parte da cobertura terrestre, a qual, devido a uma grande precisão, vem substituindo em muitos casos os métodos tradicionais usados da topografia, mediante uso de estações totais.

2.5 Sistemas de projeção

O problema básico da Cartografia consiste na representação de superfícies curvas no plano, especificamente o elipsóide de revolução ou a esfera – as denominadas superfícies de referência, que são as figuras utilizadas para representar a Terra, haja vista a necessidade de uma representação geométrica definida matematicamente (SANTOS, 1985).

Assim, seu objetivo é o de expressar, sobre um sistema de coordenadas plano, pontos discretos que tenham perfeita ligação com seu homólogo na superfície de

referência, de forma que o cálculo efetuado sobre o sistema plano mantenha perfeita correspondência quando transportado para a superfície original (SANTOS, 1985).

Essa representação é obtida através de um sistema de projeção, definido por LIBAULT (1975) como uma correspondência matemática entre as coordenadas plano-retangulares da carta e as coordenadas esféricas da Terra.

Quando a curvatura da Terra tem que ser levada em consideração, quer se considere a Terra elipsóidica ou esférica, a sua solução não é perfeita, uma vez que não existe desenvolvimento dessas superfícies no plano sem que não se verifiquem deformações de natureza angular, linear ou superficial (SANTOS, 1985). Na impossibilidade de eliminá-las totalmente, pode-se evitá-las parcialmente. É, portanto, possível representar certa porção da superfície terrestre de maneira a conservar uma ou outra de suas propriedades. Conseqüentemente, esse sistema será escolhido de maneira que a carta venha a possuir propriedades que satisfaçam às finalidades impostas pela sua utilização (BAKKER, 1965).

2.5.1 Classificação dos sistemas de projeção

As duas superfícies de referência mencionadas anteriormente - elipsóide de revolução e esferóide - podem ser projetadas segundo diversos critérios, dando origem a um sistema de classificação. RICHARDUS & ADLER (1974) adotam o esquema de classificação exibido no Quadro 3.

Quadro 3 - Esquema de classificação dos sistemas de projeção

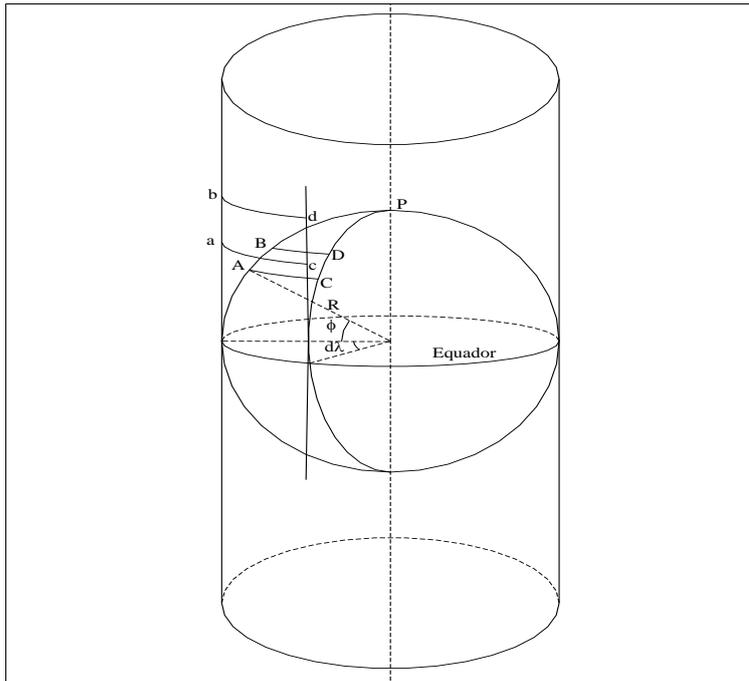
	Classes		Variedades	
Superfície de projeção	I. Natureza	Plana	Cônica	Cilíndrica
	II. Coincidência	Tangente	Secante	Poli-superfície
	III. Posição	Normal	Transversa	Oblíqua
Projeção	IV. Propriedades	Eqüidistante	Equivalente	Conforme
	V. Geração	Geométrica	Semigeométrica	Convencional

2.5.2 Coeficientes de deformação

Como mencionado anteriormente, os sistemas de projeção não podem manter todas as propriedades geométricas. Daí deriva o conceito de coeficiente de

deformação, que expressa a relação entre a grandeza medida na superfície de projeção e a sua equivalente medida na superfície de referência.

Em BAKKER (1965) encontra-se uma descrição desses coeficientes, que podem ser ilustrados pelas Figuras 2 (cilindro tangente a uma esfera) e 3.



Fonte: BAKKER (1965).
 Figura 2 - Retângulo infinitesimal representado na superfície de referência e a sua projeção no cilindro.

A partir da Figura 2, podem-se definir os coeficientes de deformação.

a) Coeficiente de deformação meridiana (β):

$$\beta = \frac{ab}{AB}, \text{ ou ainda, } \beta = \frac{cd}{CD}$$

b) Coeficiente de deformação transversal (α):

$$\alpha = \frac{ac}{AC}, \text{ ou ainda, } \alpha = \frac{bd}{BD}$$

c) Coeficiente de deformação superficial (γ):

$$\gamma = \frac{ac * ab}{AC * AB}, \text{ ou seja:}$$

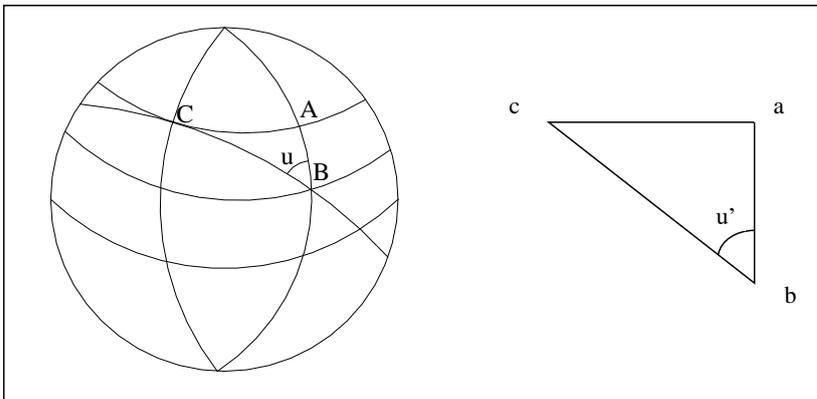
$$\gamma = \alpha \cdot \beta$$

Equação 1

Conseqüentemente, a condição para a construção de uma carta equivalente é de que $\gamma = 1$.

d) Deformação angular

Supondo dois triângulos retângulos infinitesimais: ABC na esfera-modelo e abc, sua projeção sobre o plano (Figura 3).



Fonte: BAKKER (1965).

Figura 3 - Triângulos infinitesimais representados na esfera-modelo e no plano.

A condição para que não haja deformação angular é de que os ângulos u e u' sejam iguais. Então, $u = u'$ ou $tgu = tgu'$.

O ângulo A , formado entre o meridiano e o paralelo na esfera-modelo, é reto, e o seu correspondente a pode ser considerado como tal, pois os triângulos ABC e abc representam, respectivamente, os mesmos elementos infinitamente próximos na esfera-modelo e no plano de projeção.

Pode-se então escrever:

$$tgu = \frac{AC}{AB} \quad (1) \quad \text{e} \quad tgu' = \frac{ac}{ab} \quad (2)$$

Para que não haja deformação angular, tem-se:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{ac}{ab} \quad \text{ou} \quad \frac{ac}{AC} = \frac{ab}{AB}, \quad \text{isto é:}$$

$$\alpha = \beta$$

Equação 2

Portanto, a condição para que não haja deformação angular é a igualdade dos coeficientes de deformações meridiana e transversal.

O raciocínio seguido anteriormente é válido para qualquer superfície de projeção (plano, cone e cilindro).

2.5.3 O sistema UTM

Segundo RICHARDUS & ADLER (1974), o sistema de projeção UTM – Universal Transverso de Mercator foi desenvolvido a partir de critérios especificados pelos militares, que durante a Segunda Guerra Mundial sentiram a necessidade de amplo sistema de coordenadas plano retangular em nível mundial. Esses critérios foram:

- conformidade para minimizar erros direcionais;
- “continuidade” sobre extensas áreas, com número mínimo de zonas;
- erros de escala causados pela projeção não excederem uma tolerância especificada;
- referência única num sistema de coordenadas plano retangular para todas as zonas;
- fórmula de transformação de uma zona para outra ser uniforme através do sistema (assumindo um elipsóide de revolução); e
- convergência meridional não exceder 5 graus.

Ainda segundo os mesmos autores, o sistema foi obtido a partir da modificação da projeção Transversa de Mercator, também conhecida como projeção de Gauss-Krüger; além dos critérios preestabelecidos para sua construção, outros podem ser destacados:

1. O mundo foi dividido em 60 zonas, cada uma delas abrangendo 6° de longitude, 3° para leste e 3° para oeste do meridiano central. As zonas são numeradas consecutivamente de 1 a 60, com a contagem iniciando na zona entre 180° W e 174° W e continuando para leste. Esse sistema de

numeração coincide com aquele adotado para a Carta Internacional ao Milionésimo.

2. A deformação da escala é constante ao longo de todo o meridiano central, com valor de 0,9996. Como o cilindro é secante ao elipsóide de revolução, as distorções se distribuem mais favoravelmente ao longo de toda a zona (no caso da projeção Transversa de Mercator, o cilindro é tangente ao elipsóide).

Em 1951, a Associação Geodésica e Geofísica Internacional (AGGI) recomendou em caráter amplo o sistema UTM para o mundo inteiro. Ele vem sendo adotado no Brasil desde 1955 pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o mapeamento sistemático do País (GRIPP Jr. & SILVA, 1994).

Vale ressaltar que a projeção Transversa de Mercator compreende um cilindro transversal tangente a uma esfera, ao passo que a projeção de Gauss-Krüger compreende um cilindro elíptico, também tangente, mas a um elipsóide. A diferença entre este sistema e o sistema UTM é que neste o cilindro é secante ao elipsóide.

No caso do sistema de projeção UTM, o coeficiente de deformação linear, ou fator de escala, pode ser expresso, segundo RICHARDUS & ADDLER (1974), pela equação a seguir:

$$Kp = Ko * \left(1 + \frac{y^2}{2 * R^2} \right) \quad \text{Equação 3}$$

em que

Kp = coeficiente de deformação no ponto p ;

$Ko = 0,9996$, coeficiente de deformação atribuído ao meridiano central;

y = distância sobre a projeção (cilindro) do ponto p ao meridiano central; e

R = raio médio da terra.

$$R = \sqrt{M * N}$$

$$M = \frac{a * (1 - e^2)}{(1 - e^2 * \text{sen}^2 \phi)^{3/2}}$$

$$N = \frac{a}{1 - e^2 * \text{sen}^2 \phi}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2},$$

em que

M = raio de curvatura da seção meridiana no ponto p ;

N = raio de curvatura da seção 1° vertical no ponto p ;

a = semi-eixo maior do elipsóide;

b = semi-eixo menor do elipsóide; e

e^2 = primeira excentricidade do elipsóide.

No caso do Elipsóide de Referência Internacional (ERI 67), que é o adotado no Brasil, os valores são:

$a = 6.378.160$ m

$b = 6.356.776$ m

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se nos municípios de Turmalina, Minas Novas, Veredinha e Capelinha, Estado de Minas Gerais, sendo parte de uma fazenda de propriedade da Acesita Energética Ltda., com uma área de aproximadamente 6.829 ha, que se encontra entre as latitudes 17° 17' S e 17° 27' S e as longitudes 42° 44' W e 42° 33' W, conforme indica a Figura 4. Segundo GOLFARI (1975), a região compreende chapadões baixos e colinas com relevo ondulado suave a ondulado forte, com altitude variando entre 600 e 1.000 m; o clima é o subtropical úmido subúmido, com temperatura média anual variando de 19°C a 22°C; a precipitação varia de 1.150 a 1.450 mm; apresenta dominância edáfica de luvisolos férricos, ferralsolos ácidos e arenossolos ferrálicos; as formações vegetais compreendem cerrados com seus diferentes tipos, desde cerradões a campos, com pequenas ocorrências de matas semicaducifólias e caducifólias. As plantações de eucalipto localizadas nessa área são manejadas para a produção de carvão vegetal e de móveis, com rotação média de sete anos.

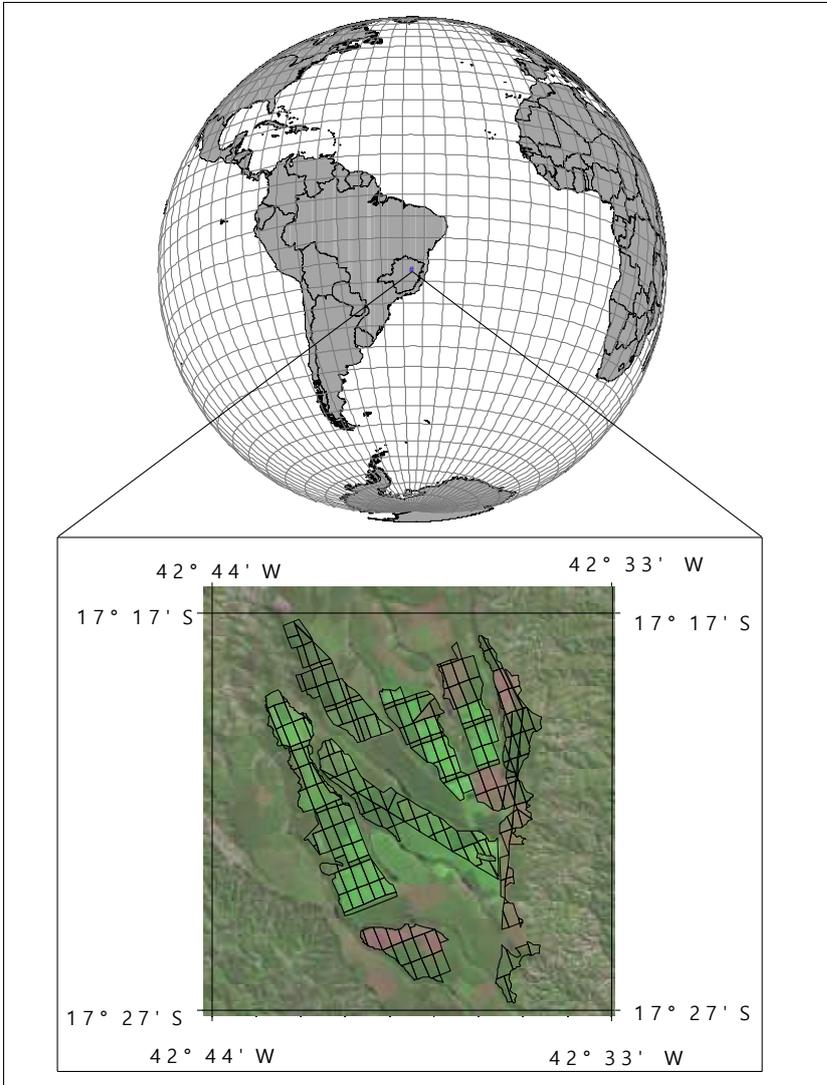


Figura 4 - Localização da área de estudo.

3.2 Material

As fontes de dados utilizadas no trabalho são descritas a seguir.

3.2.1 Cartas

Como fonte de consulta, foi utilizada uma carta plani-altimétrica do IBGE, folha SE.23-X-D-II MI-2349, denominada Minas Novas, escala 1:100.000, contendo, entre outros, os temas: curvas de nível, cobertura vegetal, hidrografia, sistema viário e limites municipais.

3.2.2 Imagens de satélite

Foram usadas duas imagens orbitais no formato digital: uma do satélite LANDSAT-7 ETM+, fusão das bandas 5, 4, 3 e pan, de 18 de maio de 2000, órbita-ponto 217_072, com resolução espacial de 15 m; e uma do satélite CBERS-1, bandas 2, 3 e 4, de 23 de julho de 2000, órbita-ponto 151_119, com resolução espacial de 20 m. Também foi utilizada uma imagem impressa em papel fotográfico, escala 1:50.000, correspondente a uma cena da imagem LANDSAT-7 ETM+.

3.2.3 Receptor GPS

Para o trabalho de campo, realizado no mês de maio de 2001, utilizou-se um receptor GPS ProXLS com precisão de 0,5 metro para coletar as coordenadas geográficas dos potenciais pontos de controle terrestre, para posterior correção geométrica das imagens orbitais e georreferenciamento da carta-imagem.

3.2.4 Sistemas computacionais e equipamentos utilizados

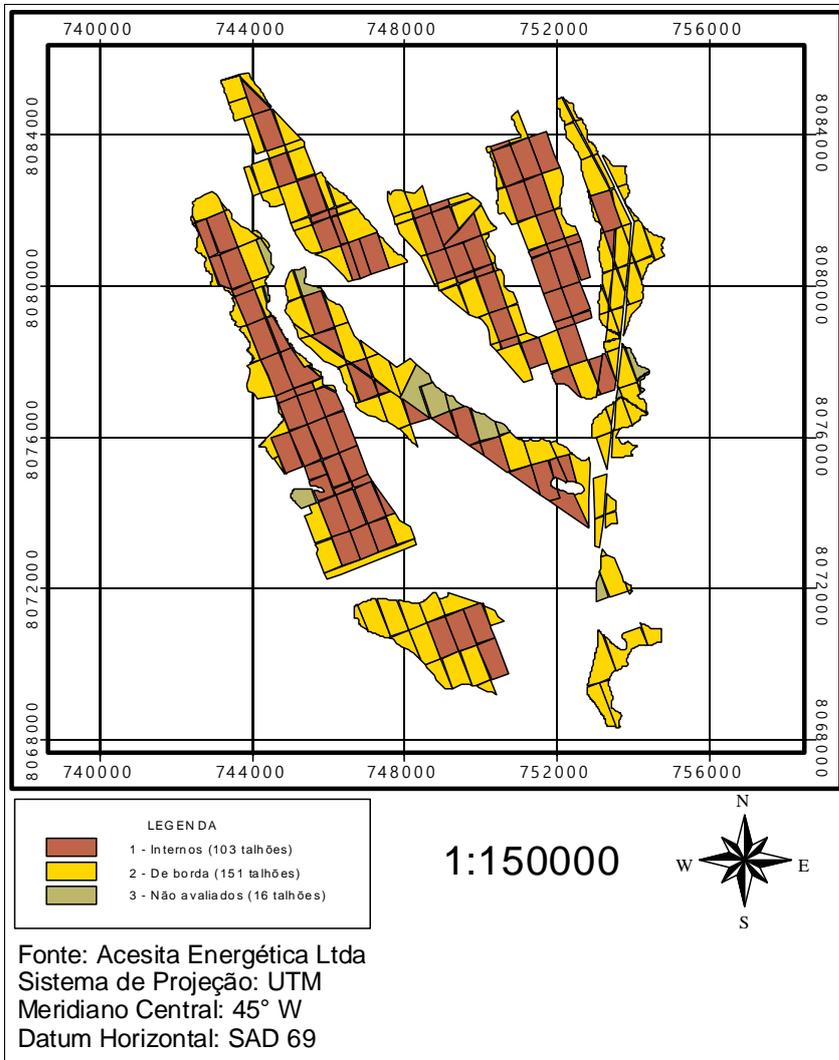
Na execução dos trabalhos, utilizou-se o sistema SPRING 3.4 para o processamento das imagens orbitais e a digitalização em tela. O sorteio da amostra a ser digitalizada em tela para a imagem CBERS-1, a elaboração dos mapas e a manipulação dos atributos de cada talhão foram realizados no sistema ArcView 3.2a. O procedimento estatístico proposto por LEITE & OLIVEIRA (2002) (teste L&O)

foi implementado em uma planilha eletrônica MSEXcel. Usou-se o Autocad 2000 para edição da base fornecida pela Acesita. O programa CARTALINX 1.2 foi utilizado para a digitalização da carta-imagem. Os aplicativos mencionados operavam em ambiente Windows, sendo os quatro primeiros executados em um computador Celeron 400 Mhz, com 128 MB de memória RAM e monitor de vídeo de 17" tela plana, e o último em um Pentium 75 Mhz, com 16 MB de memória RAM. Também foi usada uma mesa digitalizadora formato A0 (SumaGraphics®, modelo Summagrid™ III).

3.3 Metodologia

3.3.1 Dados de referência

Como verdade de campo, foi adotado um mapeamento realizado pela Acesita Energética Ltda., contendo 270 talhões, conforme indica a Figura 5, realizado com o GPS ProXLS, com tempo de permanência por ponto de 15 segundos, cujos dados sofreram correção diferencial. O arquivo fornecido pela empresa foi editado no *AutoCad*, para remoção de eixos de estradas e linhas duplicadas, deixando apenas os limites dos talhões. Posteriormente, esse arquivo foi exportado para o *Arcview*, onde se calculou, para cada talhão, a área, cujos valores constam dos Quadros 1A, 2A e 3A, no Apêndice. Embora nem todas as feições mapeadas fossem talhões de eucalipto, aqui elas receberam essa designação genérica.



Fonte: Acesita Energética Ltda.
 Figura 5 – Mapa dos 270 talhões de eucaliptos, obtido utilizando o GPS ProXLS. |

3.3.2 Determinação das áreas de eucaliptais através de imagens orbitais

3.3.2.1 Digitalização em mesa

Na mesa digitalizadora realizou-se a vetorização dos 270 talhões de eucaliptos utilizando a imagem Landsat-7 ETM+, sendo o georreferenciamento realizado *a priori*, em cada sessão de digitalização. Paralelamente, atribuiu-se um identificador para cada um dos talhões. Em seguida, foram feitas a edição e a criação da topologia de polígonos. O arquivo resultante foi exportado para o *ArcView*, onde se calculou, para cada talhão, a sua área. Os valores constam do Quadro 1A do Apêndice. A Figura 6 mostra o mapeamento de 254 talhões resultante da digitalização em mesa. Os outros 16 talhões não foram avaliados porque apresentaram uma discrepância geométrica em relação aos tomados como referência, o que foi posteriormente confirmado pela equipe de campo da empresa.

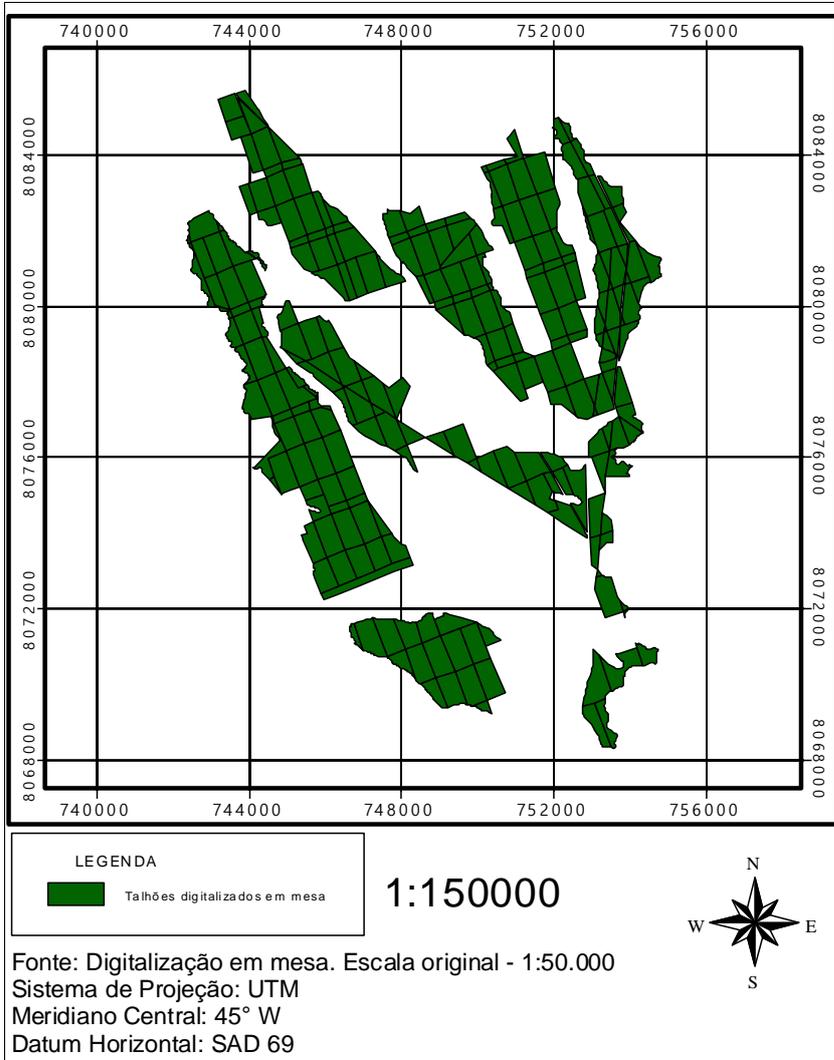


Figura 6 - Mapa dos 254 talhões de eucaliptos, resultante da digitalização em mesa da imagem Landsat-7 ETM+.

3.3.2.2 Digitalização em tela

- **Imagem Landsat 7 ETM+**

A primeira etapa foi georreferenciar a imagem, sendo para isso utilizados 21 pontos de controle, distribuídos uniformemente sobre a área. Utilizou-se uma equação polinomial de terceira ordem. O método de interpolação de intensidade adotado foi o do Vizinho Mais Próximo.

Ao término da digitalização, realizaram-se a edição, criação de topologia e identificação dos polígonos, conforme a numeração adotada na digitalização em mesa. O arquivo gerado foi exportado para o *ArcView*, onde se calculou, para cada talhão, sua área, estando os valores no Quadro 2A do Apêndice. A Figura 7 mostra o mapeamento dos talhões resultante da digitalização em tela da imagem Landsat-7 ETM+.

- **Imagem CBERS1**

Nesta etapa, optou-se por digitalizar apenas uma amostra de 20% dos 254 talhões. Essa amostra foi coletada em cada uma das classes de área (descritas nos Quadros 9 e 13). Ao todo, 51 talhões foram digitalizados. O sorteio foi realizado através de um *script* do *Arcview*, denominado *Randsel.ave*.

O georreferenciamento foi feito utilizando-se 22 pontos de controle, distribuídos uniformemente sobre a área. Similarmente à imagem Landsat, utilizou-se uma equação polinomial de terceira ordem, e o método de interpolação de intensidade adotado foi o do Vizinho Mais Próximo.

Após a edição, criação de topologia e identificação dos polígonos, conforme a numeração adotada na digitalização em mesa, o arquivo foi exportado para o *ArcView*, onde se calculou, para cada talhão, sua área, estando os valores no Quadro 3A do Apêndice. A Figura 8 mostra o mapeamento dos talhões resultante da digitalização em tela da imagem CBERS-1 CCD.

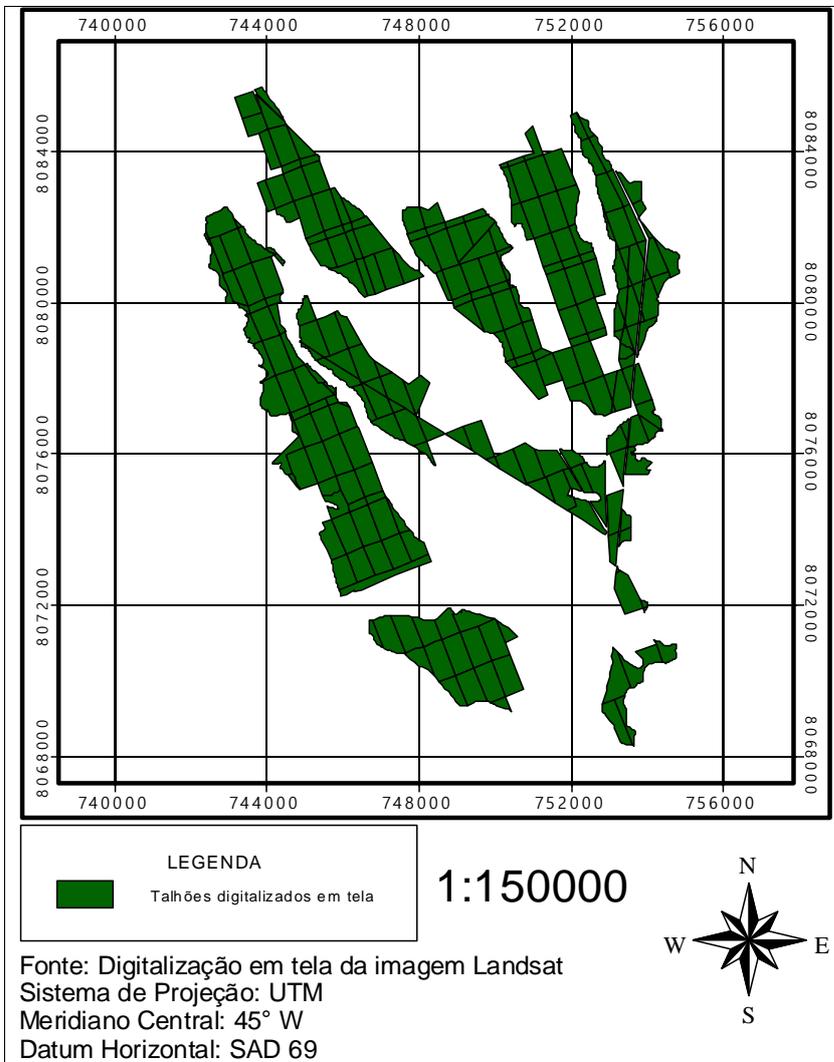


Figura 7 - Mapa dos 254 talhões de eucaliptos, resultante da digitalização em tela da imagem Landsat-7 ETM+.

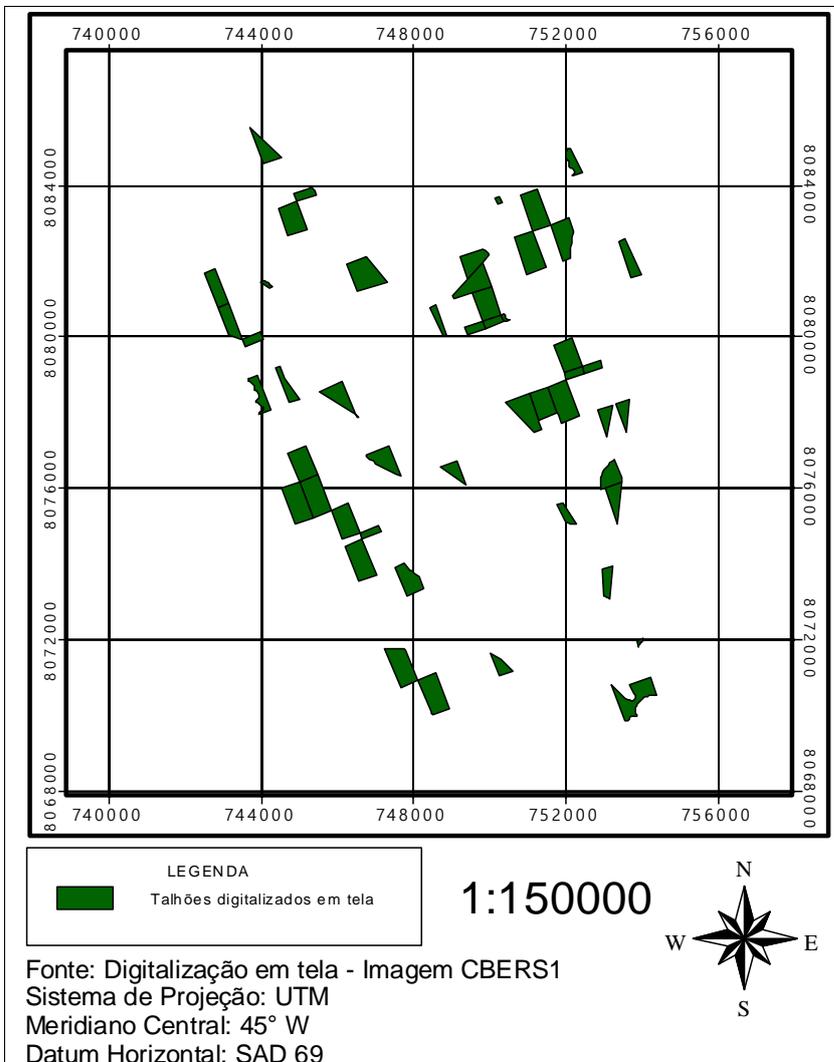


Figura 8 - Mapa dos 51 talhões de eucaliptos, resultante da digitalização em tela da imagem CBERS-1 CCD.

3.3.3 Estudo do coeficiente de deformação superficial para o sistema UTM

Considerando que o coeficiente de deformação superficial é expresso pela equação 1 (página 18), que um sistema de projeção conforme satisfaz a condição estabelecida pela equação 2 (página 19), e que o coeficiente de deformação linear do sistema UTM é expresso pela equação 3 (página 20), pode-se deduzir que o coeficiente de deformação superficial (γ) será:

$$\gamma = ko^2 + \frac{y^2 * ko^2}{R^2} + \frac{y^4 * ko^2}{4 * R^4} \quad \text{Equação 4}$$

No caso específico do hemisfério sul, o domínio D para a função anterior será:

$$D = \{(y, \phi) \in \mathbb{R} \mid -334.000 \text{ m} \leq y \leq 334.000 \text{ m e } -80^\circ \leq \phi \leq 0^\circ\}$$

A partir da equação 4, e respeitando o domínio anterior, foram elaborados os gráficos presentes nas Figuras 37, 38, 39 e 40 para descrever o comportamento da deformação superficial em relação às duas variáveis independentes.

3.4 Análise dos dados

3.4.1 Classes de talhões

No decorrer das atividades de vetorização (tanto em mesa quanto em tela), verificou-se um nível diferenciado de dificuldade na identificação dos limites dos talhões, devido à variação do contraste entre estrada e cobertura vegetal, decorrente do grau de uso e conservação das estradas, ao tombamento de árvores devido a vendavais e à presença de grande quantidade de veredas. Conseqüentemente, os talhões foram divididos em classes, conforme indicam o Quadro 4 e a Figura 5.

Quadro 4 - Classes de talhões classificados quanto à disposição espacial

Classes	Descrição	Número
1	Talhões internos	103
2	Talhões de borda	151
3	Talhões não avaliados	16
Total		270

Além do contraste, as classes também contemplaram geometrias diferenciadas. A classe 1 apresenta talhões retangulares ou triangulares, enquanto a 2 possui talhões de formas irregulares.

3.4.2 Cálculo dos erros

Os arquivos provenientes das digitalizações, juntamente com o mapeamento tomado como referência, foram importados para o *ArcView*, onde se calculou a área para os talhões. Cada talhão recebeu um identificador, através do qual pôde-se transferir os valores de área do mapa fornecido pela ACESITA para cada uma das tabelas de atributos dos temas digitalizados. Em seguida, calculou-se o erro percentual cometido, segundo a equação 5, cujos resultados encontram-se nos Quadros 1A, 2A e 3A do Apêndice.

$$Erro = \frac{(\text{área digitalizada} - \text{área de referência})}{\text{área de referência}} * 100 \quad \text{Equação 5}$$

3.4.3 Agrupamento dos talhões em classes de erro e área

Para avaliar o comportamento do erro, os talhões foram agrupados em 36 classes de erros, com amplitude de 5%, para as digitalizações em mesa e tela das imagens Landsat-7 ETM+ e CBERS-1 CCD. Eles também foram divididos em 12 classes de área, com amplitude de classe de 5 hectares. Foram ainda gerados os gráficos, relacionando o erro e a área de cada um dos talhões, as áreas de referência e as digitalizadas.

3.4.4 Análise estatística

As estimativas de áreas dos talhões de eucalipto obtidas por meio dos três métodos foram comparadas com o método-padrão, empregando-se o procedimento proposto por LEITE & OLIVEIRA (2002). O procedimento L&O consiste em uma regra de decisão construída com base na estatística F proposta por GRAYBILL (1976), na avaliação do erro médio e na análise do coeficiente de correlação linear. Conforme os autores, sendo y_1 e y_j dois vetores de dados quantitativos, sendo que j indica um método, procedimento ou tratamento alternativo e 1 o padrão, então:

$$y_1 = \begin{bmatrix} 1 & Y_{11} \\ 1 & Y_{12} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & Y_{1n} \end{bmatrix}; \quad y_j = \begin{bmatrix} Y_{j1} \\ j_{j2} \\ \vdots \\ j_{jn} \end{bmatrix}.$$

A relação entre Y_1 e Y_j pode ser expressa matricialmente por $y_j = y_1 b + e$, em que:

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix}; \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}.$$

Sob normalidade, $F(H_0) = \frac{(\beta - \theta)' y_1' y_1 (\beta - \theta)}{2QMR} \sim F_{\alpha}(2, n - 2 \text{ g.l.})$, sendo

$$\beta = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \end{bmatrix}, \quad \theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}; \quad y_1' y_1 = \begin{bmatrix} n & \sum Y_1 \\ \sum Y_1 & \sum Y_1^2 \end{bmatrix} \text{ e } QMR = \text{quadrado médio dos}$$

resíduos da regressão linear simples $Y_j = \beta_0 + \beta_1 Y_1$. Assim, com $n - 2$ graus de liberdade e um nível de significância α , essa estatística é usada para avaliar a hipótese $H_0: \beta = [0 \ 1]$. Se $F(H_0) \geq F_{\alpha}(2, n-2 \text{ g.l.})$, a hipótese é rejeitada; caso contrário, é aceita, admitindo-se a identidade, isto é, $Y_j = Y_1$ em nível α de significância.

Considerando que os erros, $e_i = (Y_{ji} - Y_{1i})/Y_{1i}$, seguem uma distribuição normal, a hipótese $H_0: \bar{e} = 0$ vs. H_a : não H_0 pode ser testada usando a estatística t,

dada por $t_{\bar{e}} = \frac{\bar{e} - 0}{S_{\bar{e}}}$, sendo $S_{\bar{e}} = \frac{S_e}{\sqrt{n}}$, com $n-1$ graus de liberdade. Se $t_{\bar{e}} \geq t_{\alpha}(n-1)$ g.l.), a hipótese é rejeitada. Por outro lado, se $t_{\bar{e}} < t_{\alpha}(n-1)$, aceita-se H_0 .

A regra de decisão proposta pelos autores consiste em utilizar os testes F e t descritos anteriormente, em conjunto com a análise da inequação $r_{Y_j, Y_1} \geq 1 - |\bar{e}|$. Aceita-se a identidade entre Y_j e Y_1 quando ocorre a situação 1 do Quadro 5.

Quadro 5 - Regra de decisão proposta por LEITE & OLIVEIRA (2002) para comparar dois vetores de dados quantitativos

Situação	F(H_0)	$t_{\bar{e}}$	r_{Y_j, Y_1}	Decisão
1	ns	ns	$r_{Y_j, Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j = Y_1$
2	ns	ns	$r_{Y_j, Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
3	ns	*	$r_{Y_j, Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
4	ns	*	$r_{Y_j, Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
5	*	ns	$r_{Y_j, Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
6	*	ns	$r_{Y_j, Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
7	*	*	$r_{Y_j, Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
8	*	*	$r_{Y_j, Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$

ns e * denotam, respectivamente, não-significância e significância em nível α .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação individual de cada método

4.1.1 Digitalização em mesa da carta-imagem Landsat-7

A vetorização dos talhões da carta-imagem foi realizada em cinco seções de digitalização, tendo sido utilizados para o georreferenciamento, em média, 23 pontos de controle terrestres. O RMS, em média, foi de 8,8 m (59% do pixel), e o tempo total demandado, de aproximadamente 50 horas (30 de digitalização e 20 de edição). Considerando que 254 talhões foram digitalizados, tem-se um tempo estimado de aproximadamente 12 minutos por talhão. Esse tempo está diretamente associado à experiência e à acuidade visual do operador, e espera-se uma queda significativa nesse valor à medida que as operações se tornem mecânicas. Outro fator que também poderá reduzir o tempo de digitalização é o conhecimento da área de estudo por parte do operador.

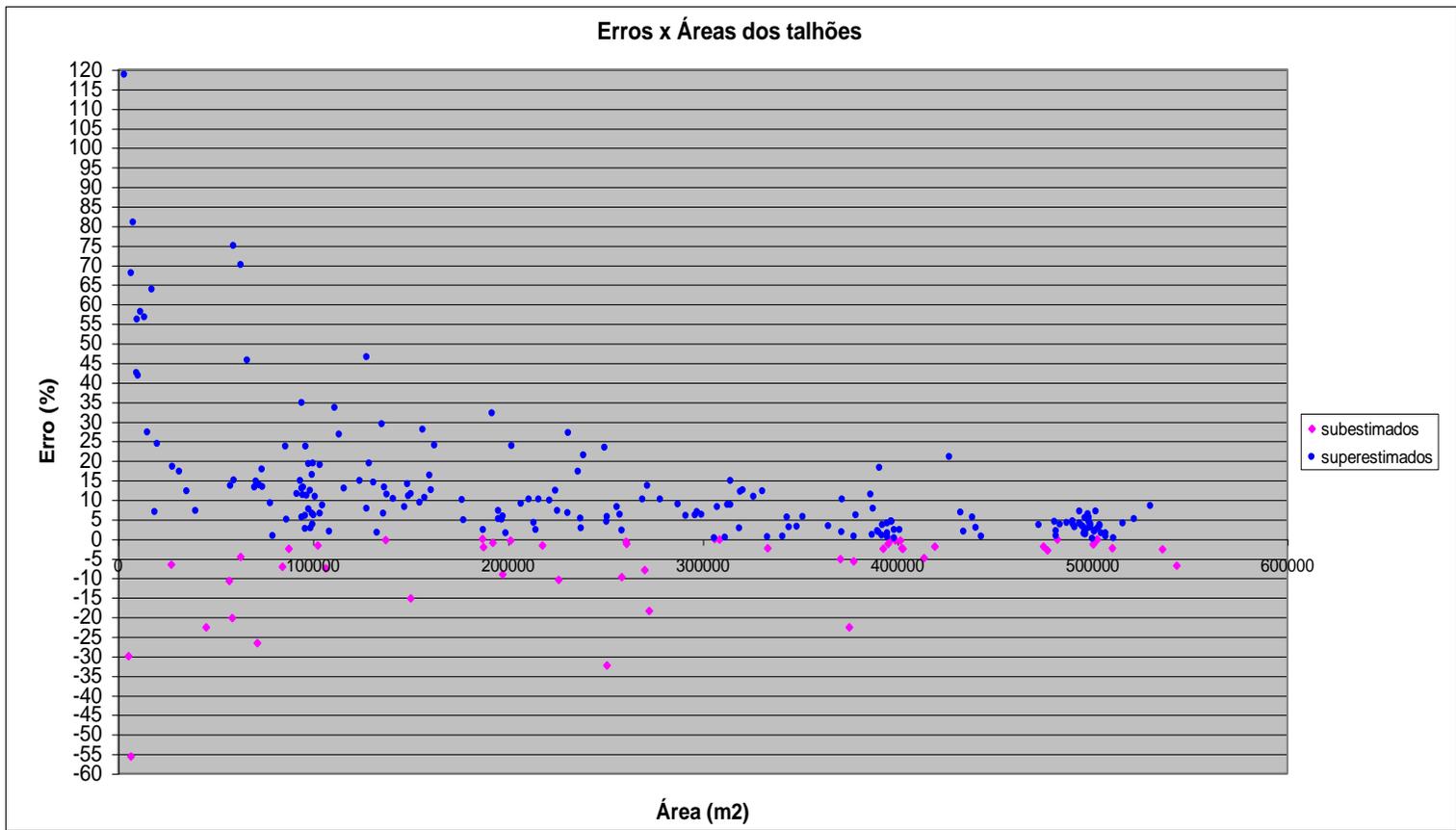
A Figura 9 fornece o comportamento geral dos erros em relação ao tamanho das áreas dos talhões, através de um diagrama de dispersão, útil para se verificar a associação entre variáveis quantitativas. Nela estão representados os erros de todos os 254 talhões digitalizados. Considerando os valores da variável erro em módulo, pode-se verificar que os erros maiores ocorrem para os talhões de áreas menores, seguindo uma tendência de queda e de estabilização à medida que os valores da variável área aumentam. Observa-se também tendência de superestimação das áreas:

Comentado [WDG3]: O tempo TOTAL estimado foi de 100 horas (60 de digitalização e 40 de edição). Para determinar o tempo para os talhões analisados, verifiquei o número total de talhões, presente no arquivo P_mesac.shp (510 talhões).
 $510 \text{ talhões} / 100 \text{ horas} = 5,1 \text{ talhões por hora}$
 $254 \text{ talhões} / (5,1 \text{ talhões/hora}) = 49,8 \text{ horas} \approx 50 \text{ horas}$
Considerando a redução de 50% do tempo, reduzi pela metade o número de seções de digitalização, ou seja, de 10 para 5 seções.
No que diz respeito ao número de PCTs e RMS, é impossível determinar um valor, portanto, foram mantidos.

202 talhões (79,5%) apresentaram erros positivos, conforme constatado pelo Quadro 6. Isso ocorre porque os talhões de referência desconsideram as estradas, enquanto a digitalização, dadas a resolução espacial do sensor e a largura das estradas (em geral, 10 m para os talhões internos e 20 m para os de borda), não permite esse nível de detalhe, conforme indica a Figura 10, que mostra uma comparação entre os limites dos talhões tomados como referência e os correspondentes obtidos via digitalização.

No caso dos talhões de borda, embora eles tenham, em geral, estradas mais largas compondo parte de sua delimitação, estas apresentam maior quantidade de vegetação rasteira, o que influencia a resposta espectral captada pelo sensor, diminuindo o contraste entre estrada e vegetação e, conseqüentemente, dificultando a digitalização. Outro comportamento importante é a alta dispersão da variável erro em relação a pequenos intervalos da variável área, indicando que o tamanho dos talhões não é o único fator que influencia os erros. Como um dos fatores que contribuíram para um erro maior pode-se citar a presença de sombras e estradas cobertas devido ao tombamento de árvores. Quando se consideram os talhões separados por classes, conforme indicam as Figuras 11 e 12, observa-se comportamento um pouco distinto, com os talhões internos apresentando padrão de erros mais homogêneo em relação ao padrão apresentado pelos talhões de borda. Conforme o Quadro 6, dos 103 talhões classificados como internos, 77 deles (74,8%) foram superestimados e 95 (92,2%) estão dentro do intervalo de -20% a 20% de erro. Dos 151 talhões classificados como de borda, 125 deles (82,8%) foram superestimados e 123 (81,5%) estão dentro do intervalo de -20% a 20% de erro.

Comentado [WDG5]: Este comportamento geral ocorre devido a resolução espacial do sensor, ou seja, à medida que a área aumenta, ocorre uma "diluição" do erro causado da resolução espacial do satélite, que é de 15 m.



Fonte: Quadro 1A.

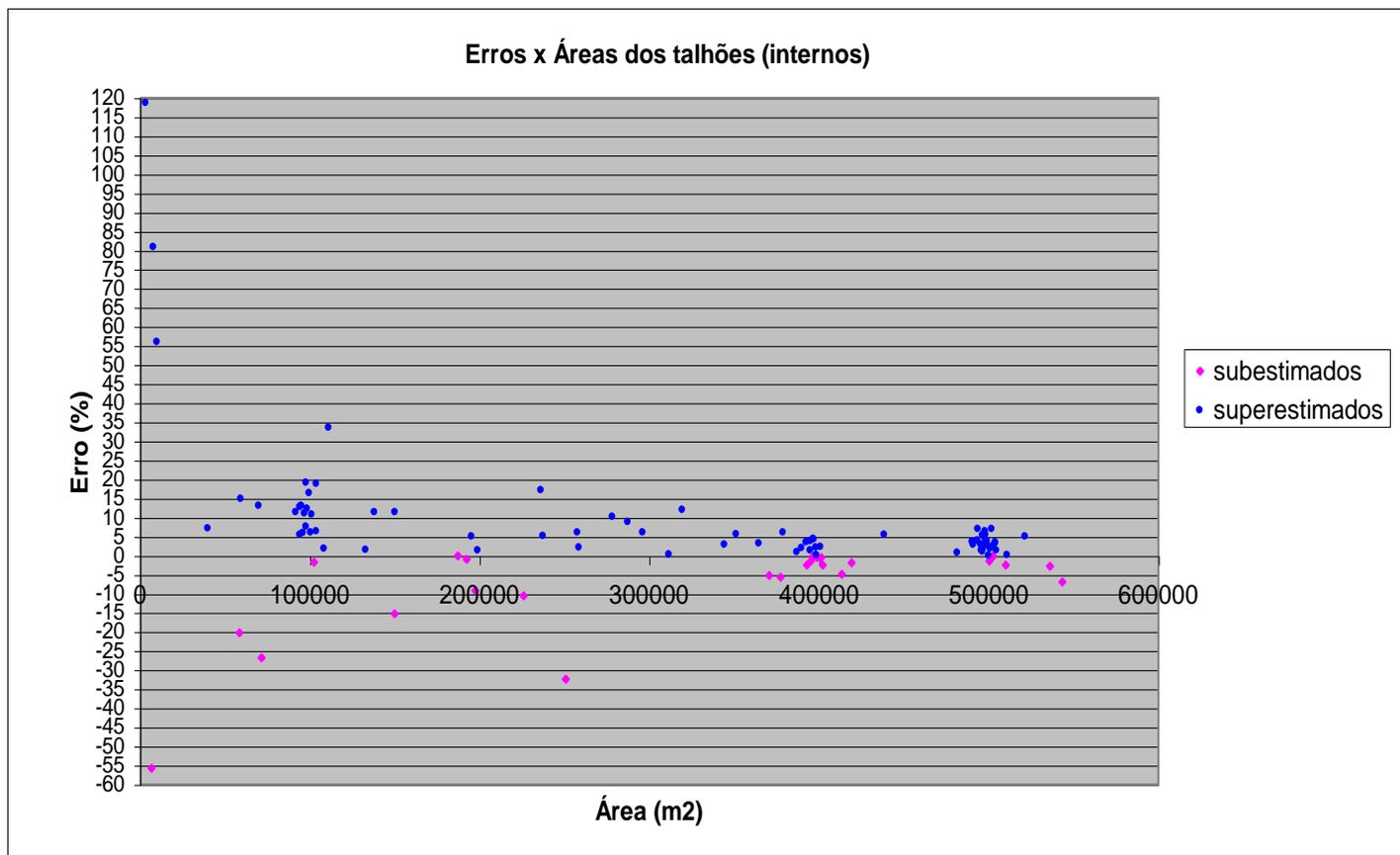
Figura 9 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando todos os talhões.

Comentado [WDG6]: CHECADO.



Figura 10 - Esquema comparando os limites dos talhões de referência e os digitalizados.

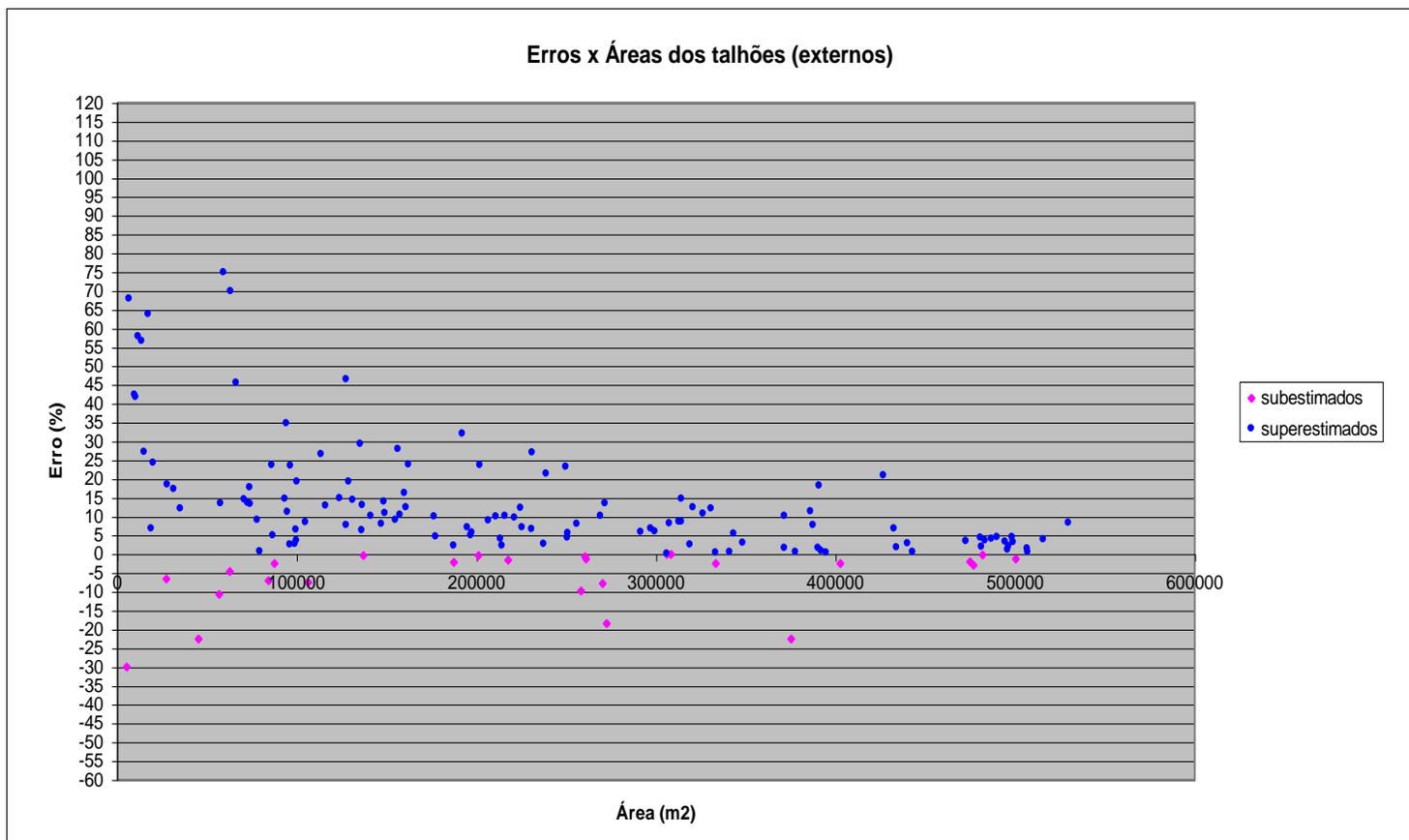
Comentado [WDG7]: Proveniente do arquivo → Esquema comparando os limites dos talhões de referência e os digitalizados.wmf



Fonte:Quadro 1A.

Figura 11 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando apenas os talhões internos.

Comentado [WDG8]: CHECADO.



Fonte: Quadro 1A.

Figura 12 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando apenas os talhões de borda.

Em termos da distribuição de frequência dos erros, o Quadro 6 e a Figura 13 indicam um comportamento que se aproxima de uma distribuição normal, o que é comum em estudos que envolvem obtenção de medidas. A média do erro foi maior que zero devido à tendência de superestimação das áreas, conforme indica o Quadro 7. O Quadro 6 mostra também grande concentração das frequências no intervalo que vai de -10 a 20%, tanto para os talhões como um todo ou subdivididos nas classes 1 e 2, conforme sintetizado no Quadro 8, em que os valores foram tomados em módulo. Essa concentração pode ser justificada lembrando-se de que as estradas foram tomadas como referência para a digitalização, sendo que há um padrão de largura por todo o projeto, independentemente do tamanho do talhão. No entanto, evidentemente, os talhões com áreas menores são mais sensíveis aos erros cometidos na digitalização, conforme indicam as Figuras 9, 11 e 12. A análise do Quadro 8 mostra que 43,30% dos talhões (110) estão na faixa de 0 a 5% de erros e que 64,95% (165) estão na faixa de 0 a 10%. Analisando por classe de talhão, os internos apresentam uma frequência relativa de 53,40% (55) para o intervalo de 0 a 5% de erros e 74,76% (77) para o intervalo de 0 a 10%. Já para os talhões de borda, as frequências relativas seriam de 36,42% (55) e 58,27% (88), respectivamente.

A Figura 14 apresenta a distribuição espacial dos erros, agrupados segundo a sub e superestimação dos talhões, com o gradiente de cores variando de acordo com as classes de erros do Quadro 6. Conforme mencionado anteriormente, os talhões de área menor apresentam erro maior e há tendência de superestimação. Outro fator que se destaca está relacionado à forma geométrica dos talhões: aqueles com forma não-retangular, em geral, apresentam erros maiores. A maioria desses talhões foi classificada como de borda, daí também os piores resultados apresentados por essa classe. Essas características também estão presentes na Figura 15, que apresenta a distribuição espacial dos erros, mas agora com os valores de erros considerados em módulo.

Quanto à distribuição de frequência do tamanho das áreas dos talhões, verifica-se visualmente, pela Figura 14 e também pelo Quadro 9, sua grande variabilidade. Em parte, isso ocorre devido à topografia acidentada da região, caracterizada por estreitas faixas de terreno propícias ao plantio de eucalipto. Por outro lado, nem todas as feições presentes no levantamento são talhões de eucalipto, mas são importantes num contexto de planejamento, como corredores e áreas de reserva. Por último, percebe-se a não-utilização de um levantamento *a priori*, com o

Comentado [WDG10]: DÚVIDA. Não haveria influência deste fato na análise estatística?

Comentado [WDG11]: TENTAR JUSTIFICAR O PORQUE DESTA CONCENTRAÇÃO.

posterior planejamento e implantação em campo. Com relação aos dados de referência, a área média dos talhões foi de 26,54 ha, com desvio-padrão de 16,39 ha, e o menor e o maior talhão, respectivamente 0,32 e 54,32 ha. Para os talhões internos, 60,2% (62) deles apresentam área superior a 30,28 ha, enquanto os de borda, apenas 36,4% (55).

A Figura 16 traz o diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área digitalizada em mesa e área de referência, considerando-se todos os talhões. Pode-se observar a alta correlação existente entre as duas variáveis. O coeficiente de determinação (R^2), que representa a porcentagem da variação em Y (variável dependente - área digitalizada em mesa) que seria explicada pela equação de regressão, foi de 0,987. No caso dos talhões internos (Figura 17), o coeficiente de determinação foi de 0,991. Para os talhões de borda (Figura 18), tem-se um coeficiente de determinação de 0,983. Entretanto, conforme estudos de LEITE & OLIVEIRA (2002), o coeficiente de determinação isoladamente não é suficiente para testar eficientemente a identidade dessas variáveis.

Comentado [WDG12]: Desvio padrão populacional. O amostral é de 16,4266 ha.

Quadro 6 - Distribuição de frequência dos erros em classes com amplitude de 5%

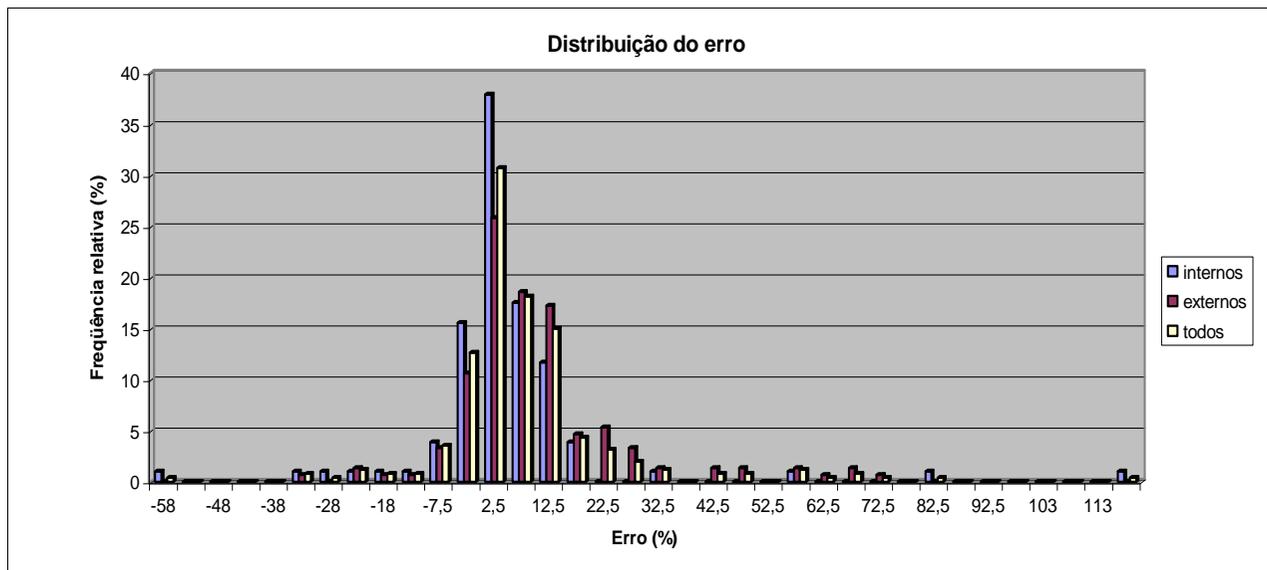
Classes de erro(%)	PM(%)	Frequência			Frequência relativa (%)				
		internos	de borda	total	internos	de borda	total		
-60	┆	-55	-57,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
-55	┆	-50	-52,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-50	┆	-45	-47,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-45	┆	-40	-42,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-40	┆	-35	-37,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-35	┆	-30	-32,5	1	1	2	0,97	0,66	0,79
-30	┆	-25	-27,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
-25	┆	-20	-22,5	1	2	3	0,97	1,32	1,18
-20	┆	-15	-17,5	1	1	2	0,97	0,66	0,79
-15	┆	-10	-12,5	1	1	2	0,97	0,66	0,79
-10	┆	-5	-7,5	4	5	9	3,88	3,31	3,54
-5	┆	0	-2,5	16	16	32	15,53	10,60	12,60
0	┆	5	2,5	39	39	78	37,86	25,83	30,71
5	┆	10	7,5	18	28	46	17,48	18,54	18,11
10	┆	15	12,5	12	26	38	11,65	17,22	14,96
15	┆	20	17,5	4	7	11	3,88	4,64	4,33
20	┆	25	22,5	0	8	8	0,00	5,30	3,15
25	┆	30	27,5	0	5	5	0,00	3,31	1,97
30	┆	35	32,5	1	2	3	0,97	1,32	1,18
35	┆	40	37,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
40	┆	45	42,5	0	2	2	0,00	1,32	0,79
45	┆	50	47,5	0	2	2	0,00	1,32	0,79
50	┆	55	52,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
55	┆	60	57,5	1	2	3	0,97	1,32	1,18
60	┆	65	62,5	0	1	1	0,00	0,66	0,39
65	┆	70	67,5	0	2	2	0,00	1,32	0,79
70	┆	75	72,5	0	1	1	0,00	0,66	0,39
75	┆	80	77,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
80	┆	85	82,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
85	┆	90	87,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
90	┆	95	92,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
95	┆	100	97,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
100	┆	105	102,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
105	┆	110	107,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
110	┆	115	112,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
115	┆	120	117,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
Total				103	151	254	100	100	100

Fonte: Quadro 1A.

Quadro 7 - Erro médio e desvio-padrão cometidos na digitalização da carta-imagem

Talhões	Erro médio (%)	Desvio-padrão (%)
Todos	8,03	16,97
Internos	4,83	17,72
De borda	10,22	16,08

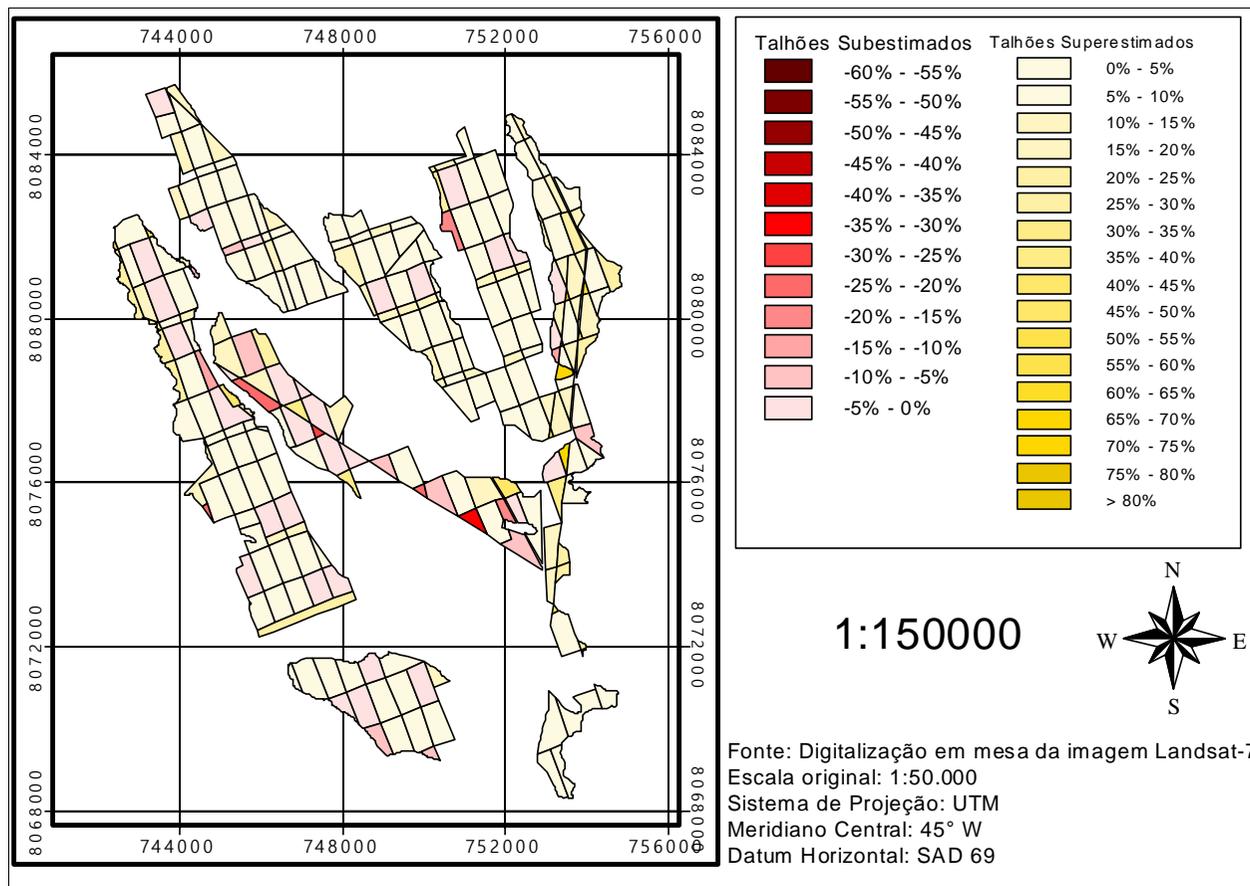
Fonte: Quadro 1A.



Fonte: Quadro 6.
 Figura 13 - Distribuição de frequência dos erros, considerando classes com amplitude de 5%.

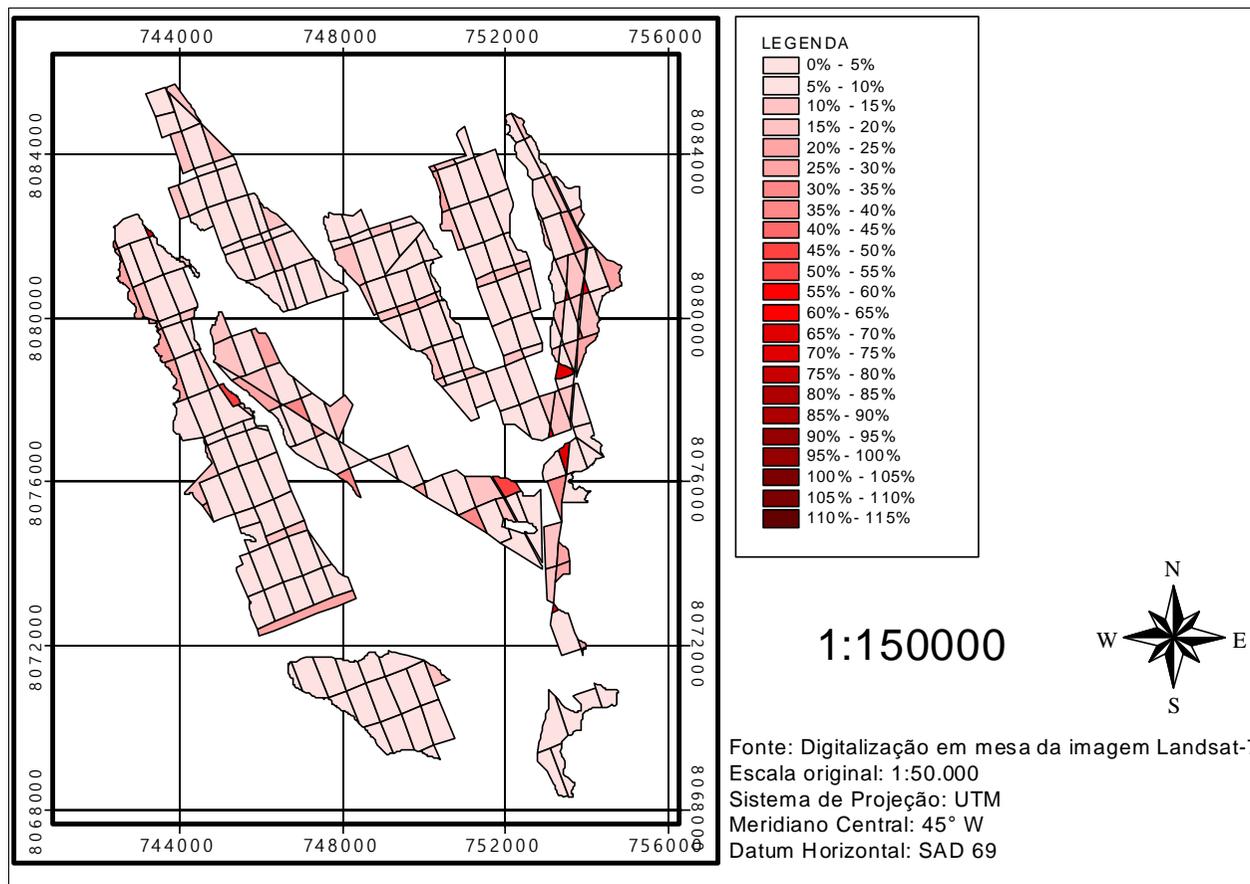
Quadro 8 - Síntese do Quadro 6, com os valores dos erros tomados em módulo

Classes de erro(%)	PM(%)	Frequência			Frequência relativa (%)		
		tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total
0 ┊ 5	2,5	55	55	110	53,40	36,42	43,30
5 ┊ 10	7,5	22	33	55	21,36	21,85	21,65
10 ┊ 15	12,5	13	27	40	12,62	17,88	15,75
15 ┊	17,5	5	8	13	4,85	5,30	5,12
Total		95	123	218	92,23	81,46	85,82



Fonte: Quadro 6.

Figura 14 - Distribuição espacial dos erros, agrupados segundo a sub e superestimação dos talhões.



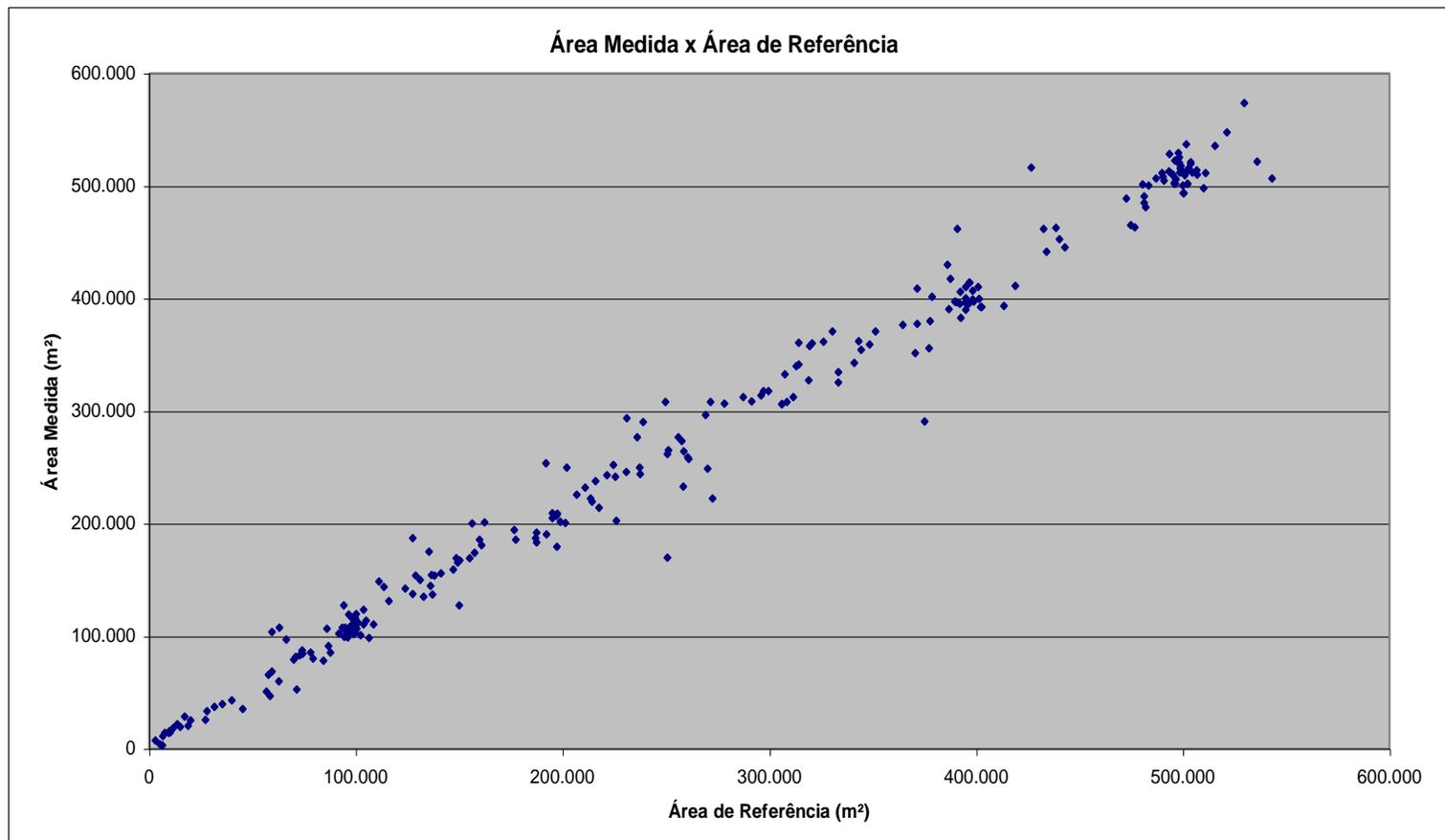
Fonte: Quadro 6.

Figura 15 - Distribuição espacial dos erros, considerados em valores absolutos.

Quadro 9 - Distribuição de frequência das áreas dos talhões em classes com amplitude de cinco hectares e estatísticas do erro dentro de cada uma delas

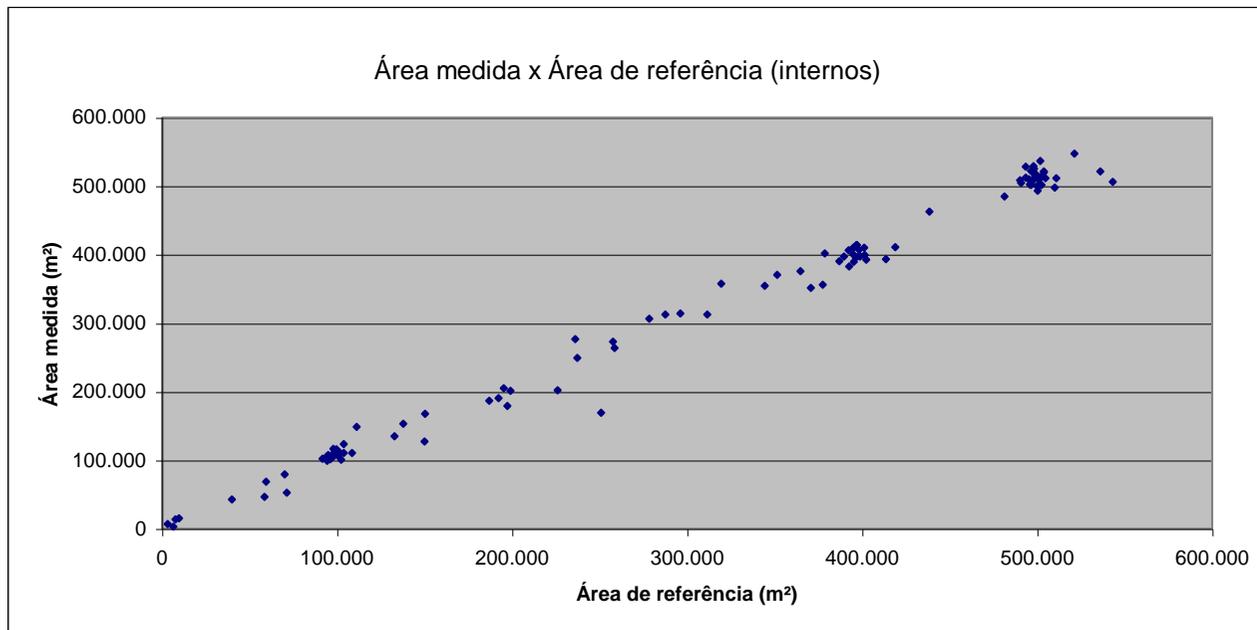
Classes de área (ha)	Ponto médio (ha)	Frequência			Erro médio(%)			Desvio-padrão(%)			Erro Mínimo(%)			Erro Máximo(%)			
		tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	
0,2800	5,2800	2,7800	7	16	23	22,86	22,87	22,9	63,7	30,7	41,8	-55,7	-30,1	-55,7	118,6	67,9	118,6
5,2800	10,2800	7,7800	6	15	21	8,14	7,73	7,8	6,1	13,4	11,6	-1,7	-7,5	-7,5	14,8	45,5	45,5
10,2800	15,2800	12,7800	15	18	33	10,33	20,66	16,0	10,6	20,8	17,5	-15,2	-0,3	-15,2	33,4	74,8	74,8
15,2800	20,2800	17,7800	8	19	27	-3,64	13,92	8,7	14,1	11,6	14,6	-32,4	-2,2	-32,4	11,4	46,4	46,4
20,2800	25,2800	22,7800	2	18	20	5	4,25	4,3	0,1	9,4	8,8	4,9	-18,5	-18,5	5,1	23,7	23,7
25,2800	30,2800	27,7800	3	10	13	8,43	8,36	8,4	7,8	15,8	14,0	2,1	-22,6	-22,6	17,2	32,0	32,0
30,2800	35,2800	32,7800	5	15	20	3,96	5,42	5,1	6,3	6,7	6,4	-5,2	-2,5	-5,2	10,1	23,2	23,2
35,2800	40,2800	37,7800	17	12	29	0,91	5,03	2,6	4,3	5,8	5,3	-5,7	-2,6	-5,7	12,0	14,7	14,7
40,2800	45,2800	42,7800	7	6	13	2,62	5,66	4,0	2,2	4,6	3,7	-1,9	0,5	-1,9	4,4	11,3	11,3
45,2800	50,2800	47,7800	9	11	20	0,49	2,97	1,9	2,2	5,8	4,6	-2,5	-2,9	-2,9	5,5	18,1	18,1
50,2800	55,2800	52,7800	24	10	34	2,9	4,8	3,5	3,0	5,8	4,0	-6,8	0,6	-6,8	7,0	20,9	20,9
55,2800	60,2800	57,7800	0	1	1	-	8,27	8,3	-	-	-	-	8,3	8,3	-	8,3	8,3
Total			103	151	254												

Fonte: Quadro 1A.



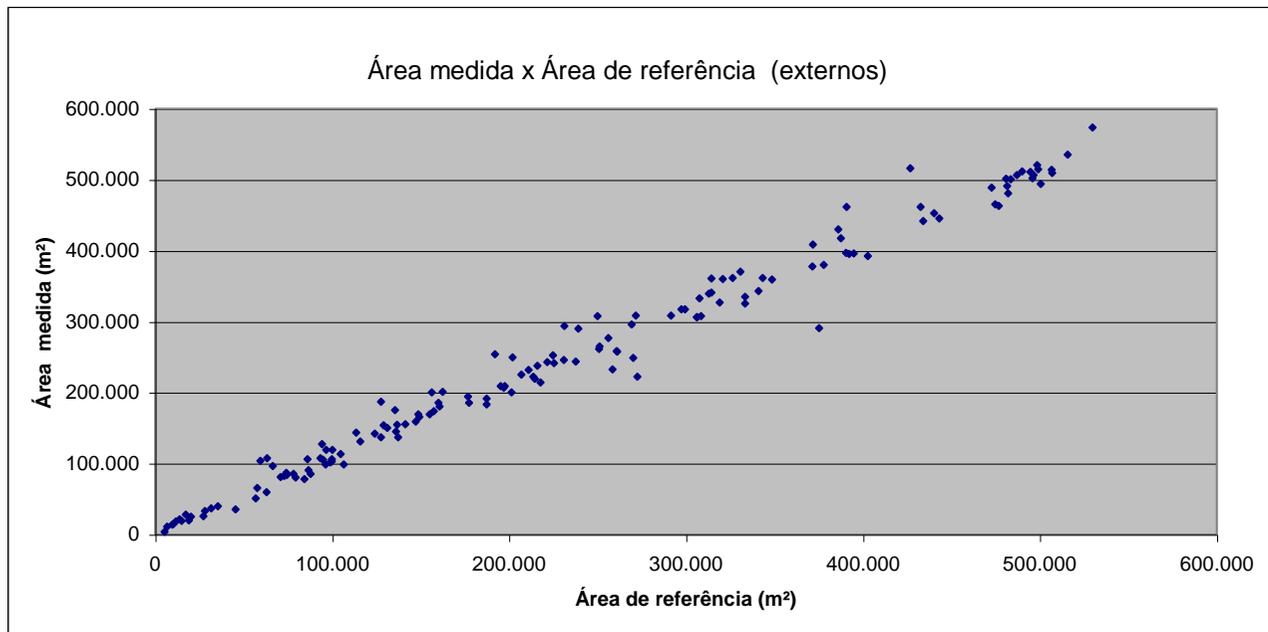
Fonte: Quadro 1A.

Figura 16 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área digitalizada em mesa, considerando-se todos os talhões.



Fonte: Quadro 1A.

Figura 17 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área digitalizada em mesa, considerando-se apenas os talhões internos.



Fonte: Quadro 1A.

Figura 18 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área digitalizada em mesa, considerando-se apenas os talhões de borda.

4.1.2 Digitalização em tela da imagem Landsat-7

No georreferenciamento da imagem obteve-se um RMS de 8,0 m (53,5% do pixel). O tempo total demandado foi de 37 horas (30 de digitalização e 7 de edição). Considerando que 254 talhões foram digitalizados, tem-se um tempo estimado de aproximadamente 9' por talhão.

Comparando os resultados encontrados nas digitalizações da imagem Landsat, em tela e em mesa, observa-se comportamento similar em ambos os casos. Assim, as considerações feitas para a digitalização em mesa podem ser estendidas para a digitalização em tela da imagem Landsat.

Manteve-se uma tendência de superestimação das áreas, conforme ilustrado na Figura 19, que fornece o comportamento geral dos erros em relação ao tamanho das áreas dos talhões, através de um diagrama de dispersão. Considerando os valores da variável erro em módulo, pode-se verificar que os erros maiores ocorrem para os talhões de áreas menores, seguindo uma tendência de queda e de estabilização à medida que os valores da variável área aumentam. Conforme o Quadro 10, dos 254 talhões digitalizados, 196 (77,16%) foram superestimados. Quando se considera por classes (internos e de borda), ocorrem pequenas variações em relação à digitalização da carta-imagem. Dos 103 talhões classificados como internos, 81 deles (78,6%) foram superestimados, conforme ilustra a Figura 20, ao passo que, dos 151 talhões classificados como de borda, 115 (76,2%) foram superestimados, conforme ilustra a Figura 21.

Novamente, a distribuição de frequência dos erros, indicada no Quadro 10 e na Figura 22, foi aproximadamente normal, com as médias e o desvio-padrão indicados no Quadro 11. Manteve-se também uma concentração de frequências no intervalo de -10 a 20% para os talhões como um todo ou subdivididos nas classes 1 e 2, conforme indica o Quadro 10, sintetizado no Quadro 12, em que os valores foram tomados em módulo. Análise do Quadro 12 mostra que cerca de 48,43% dos talhões (123) estão na faixa de 0 a 5% de erros e 70,48% dos talhões (179) estão na faixa de 0 a 10% de erros. Analisando por classe de talhão, os internos apresentam frequência relativa de 61,17% (63) para o intervalo de 0 a 5% de erros e de 80,59% (83) para o intervalo de 0 a 10%. Já para os talhões de borda, as frequências relativas seriam de 39,74% (60) e 63,58% (96), respectivamente. Comparando a frequência relativa

Comentado [WDG13]: A fonte desta informação está nos arquivos HistóricoDaDigitalizaçãoEmTela.txt e tempodaDigitalizaçãoEmTela_Landsat_e_CBERS1.xls. Neste último, que contém a soma presente no arquivo de histórico, o total foi de 44 horas. Arredondei para 40 devido a identificação ter sido feita no SPRING, o que não era obrigatoriamente necessário e acabou demorando muito. Para uniformizar o número de talhões arredondei o tempo para 37 horas, considerando que 254 talhões teriam sido digitalizados.

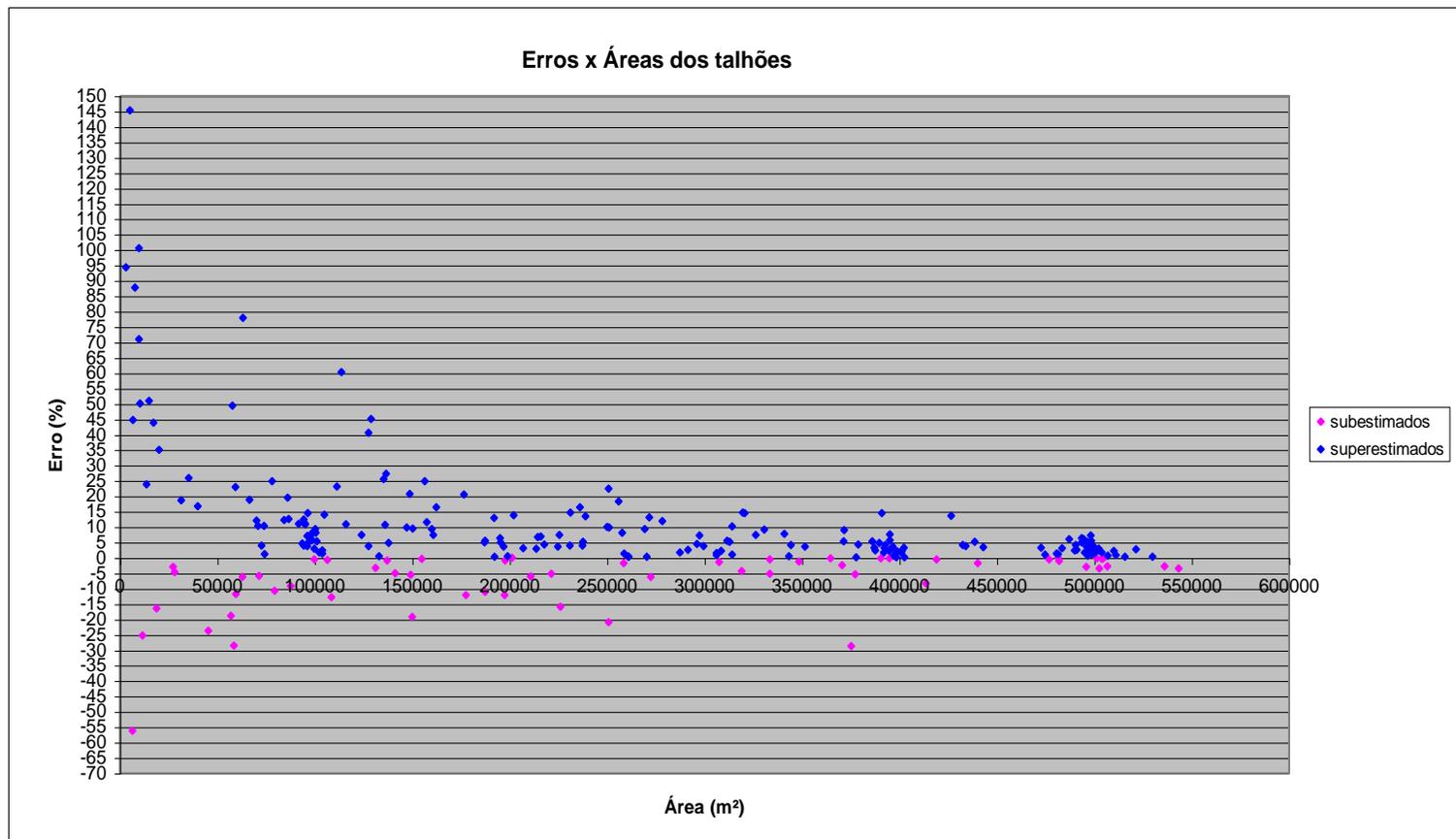
deste quadro com o Quadro 8, resultante da digitalização em mesa, observa-se certa proximidade dos valores, com os talhões internos (tipo 1) apresentando discrepância maior.

A Figura 23 apresenta a distribuição espacial dos erros, agrupados segundo a sub e superestimação dos talhões, com o gradiente de cores variando segundo as classes de erros do Quadro 10. Comparando com a Figura 14, verifica-se que alguns dos talhões sub ou superestimados na digitalização em mesa passaram a ser super ou subestimados na digitalização em tela. Já na Figura 24, os valores de erros foram tomados em módulo.

Quanto à distribuição de frequência do tamanho das áreas dos talhões, conforme Quadro 13, verifica-se que, para os talhões internos, 59,2% (61) deles apresentam área superior a 30,2800 ha. No caso dos de borda, apenas 35,8% (54) superaram esse valor, o que explica em parte os melhores resultados obtidos nos talhões internos.

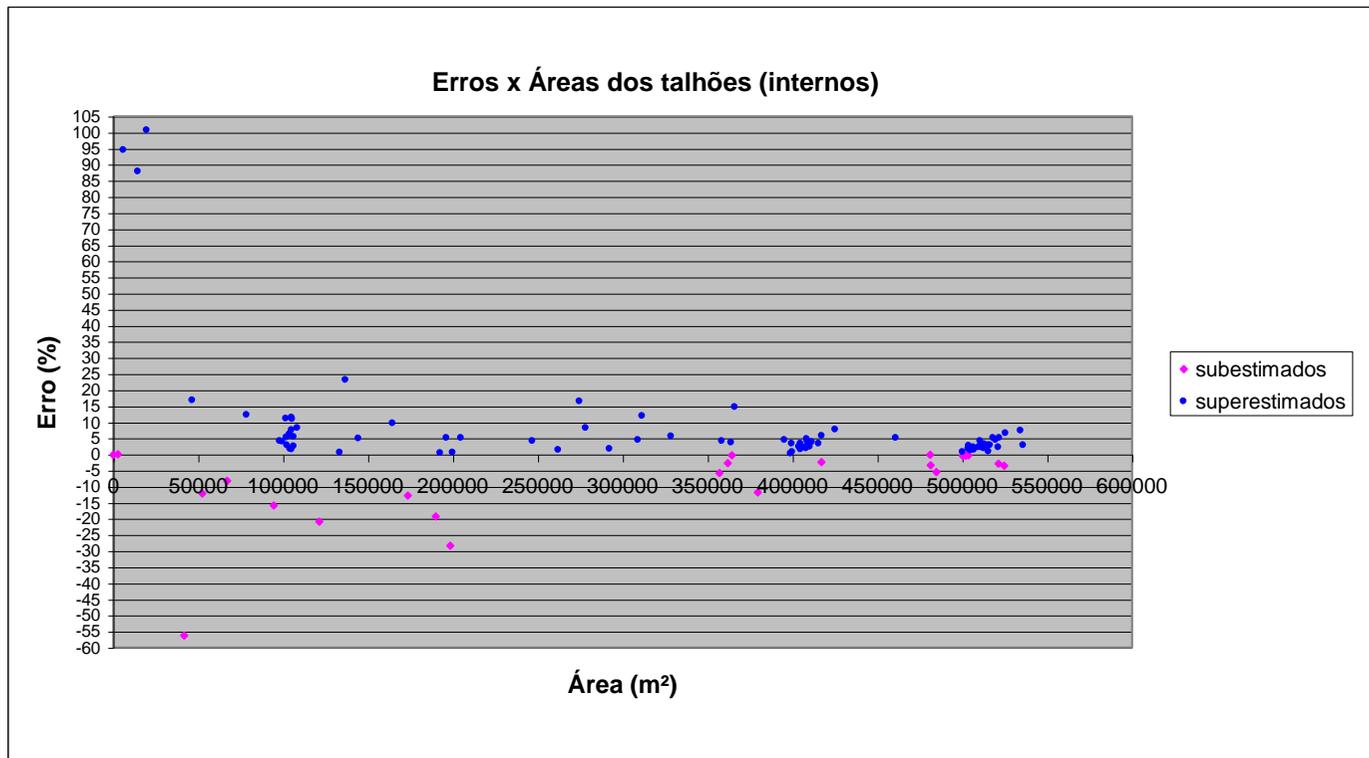
A Figura 25 traz o diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área digitalizada em tela e área de referência, considerando-se todos os talhões. Observa-se a alta correlação existente entre as duas variáveis, e o coeficiente de determinação obtido foi de 0,988. No caso dos talhões internos (Figura 26), o coeficiente de determinação foi de 0,993, e para os talhões de borda (Figura 27), de 0,984.

Embora a mesa digitalizadora tenha precisão superior ao conjunto monitor-mouse, este último apresenta recursos não-disponíveis no primeiro, como: possibilidade de variação da escala de trabalho; uso de várias combinações de bandas espectrais; uso de diversos tipos de realce de contraste; e uso do alinhamento das estradas em locais com baixo contraste. Um outro aspecto é que, mesmo sendo de boa qualidade (papel fotográfico Kodak) o papel no qual foi feita a impressão, podem ocorrer distorções na impressão e ele pode também sofrer deformações devido ao manuseio e a condições ambientais. Esses fatores podem justificar os resultados muito similares encontrados em ambos os métodos.



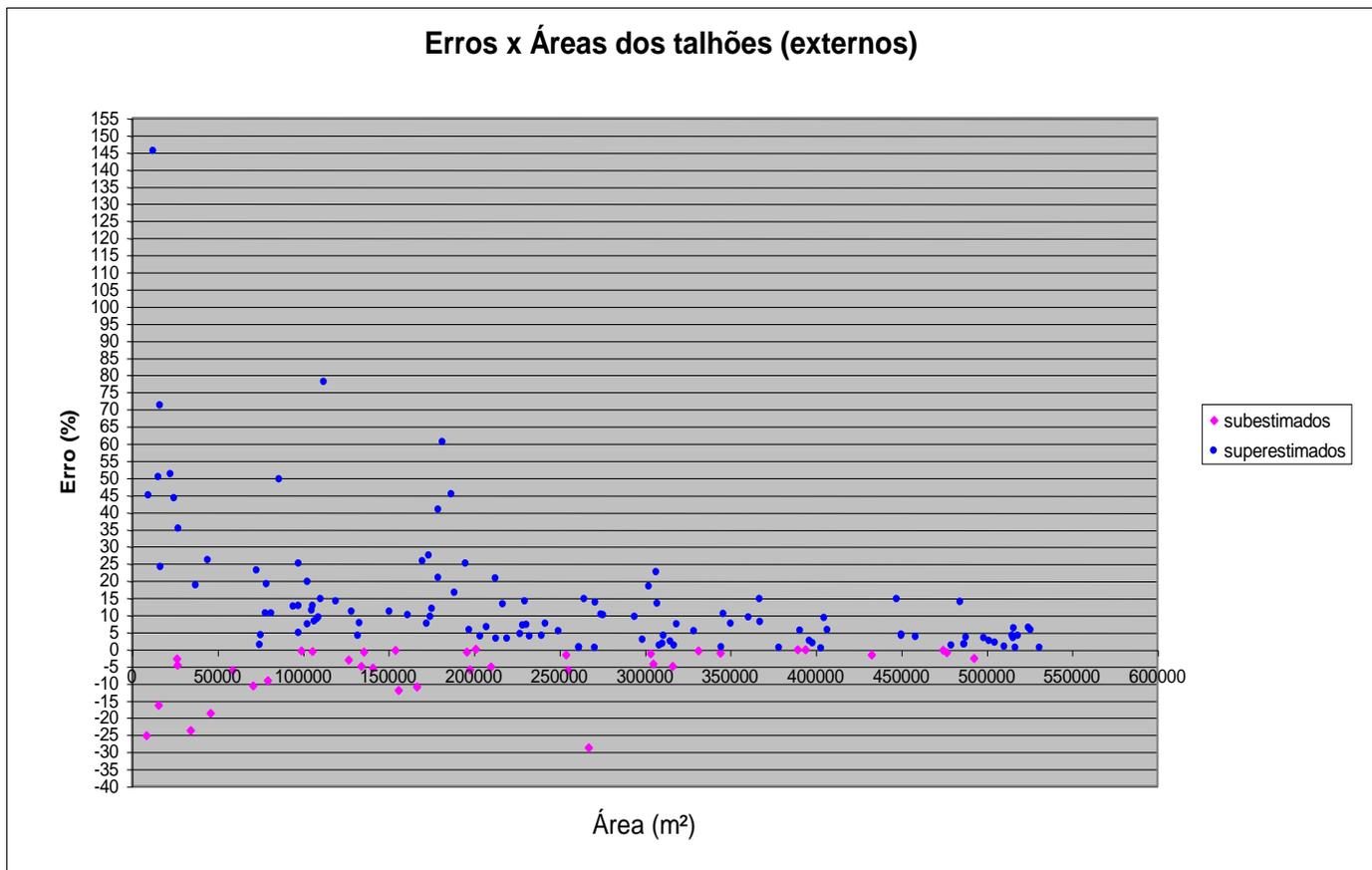
Fonte: Quadro 2A.

Figura 19 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se todos os talhões.



Fonte: Quadro 2A.

Figura 20 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando apenas os talhões internos.



Fonte: Quadro 2A.

Figura 21 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em mesa da imagem Landsat em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se apenas os talhões de borda.

Quadro 10 - Distribuição de frequência dos erros em classes com amplitude de 5%

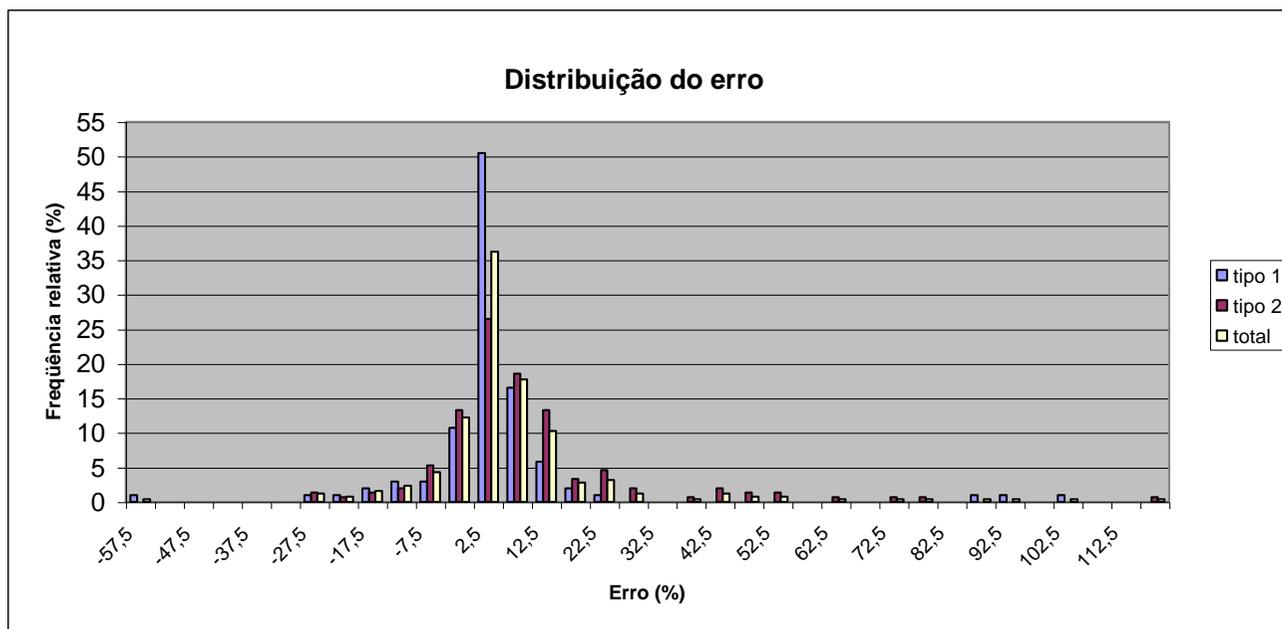
Classes de erro(%)	PM(%)	Frequência			Frequência relativa (%)			
		internos	de borda	total	internos	de borda	total	
-60	┆ -55	-57,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
-55	┆ -50	-52,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-50	┆ -45	-47,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-45	┆ -40	-42,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-40	┆ -35	-37,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-35	┆ -30	-32,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
-30	┆ -25	-27,5	1	2	3	0,97	1,32	1,18
-25	┆ -20	-22,5	1	1	2	0,97	0,66	0,79
-20	┆ -15	-17,5	2	2	4	1,94	1,32	1,57
-15	┆ -10	-12,5	3	3	6	2,91	1,99	2,36
-10	┆ -5	-7,5	3	8	11	2,91	5,30	4,33
-5	┆ 0	-2,5	11	20	31	10,68	13,25	12,20
0	┆ 5	2,5	52	40	92	50,49	26,49	36,22
5	┆ 10	7,5	17	28	45	16,50	18,54	17,72
10	┆ 15	12,5	6	20	26	5,83	13,25	10,24
15	┆ 20	17,5	2	5	7	1,94	3,31	2,76
20	┆ 25	22,5	1	7	8	0,97	4,64	3,15
25	┆ 30	27,5	0	3	3	0,00	1,99	1,18
30	┆ 35	32,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
35	┆ 40	37,5	0	1	1	0,00	0,66	0,39
40	┆ 45	42,5	0	3	3	0,00	1,99	1,18
45	┆ 50	47,5	0	2	2	0,00	1,32	0,79
50	┆ 55	52,5	0	2	2	0,00	1,32	0,79
55	┆ 60	57,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
60	┆ 65	62,5	0	1	1	0,00	0,66	0,39
65	┆ 70	67,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
70	┆ 75	72,5	0	1	1	0,00	0,66	0,39
75	┆ 80	77,5	0	1	1	0,00	0,66	0,39
80	┆ 85	82,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
85	┆ 90	87,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
90	┆ 95	92,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
95	┆ 100	97,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
100	┆ 105	102,5	1	0	1	0,97	0,00	0,39
105	┆ 110	107,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
110	┆ 115	112,5	0	0	0	0,00	0,00	0,00
> 115			0	1	1	0,00	0,66	0,39
Total			103	151	254	100,00	100,00	100,00

Fonte: Quadro 2A.

Quadro 11 - Erro médio e desvio-padrão cometidos na digitalização em tela da imagem Landsat-7

Talhões	Erro médio (%)	Desvio-padrão (%)
Todos	7,13	18,92
Internos	4,27	18,07
De borda	9,08	19,23

Fonte: Quadro 2A.

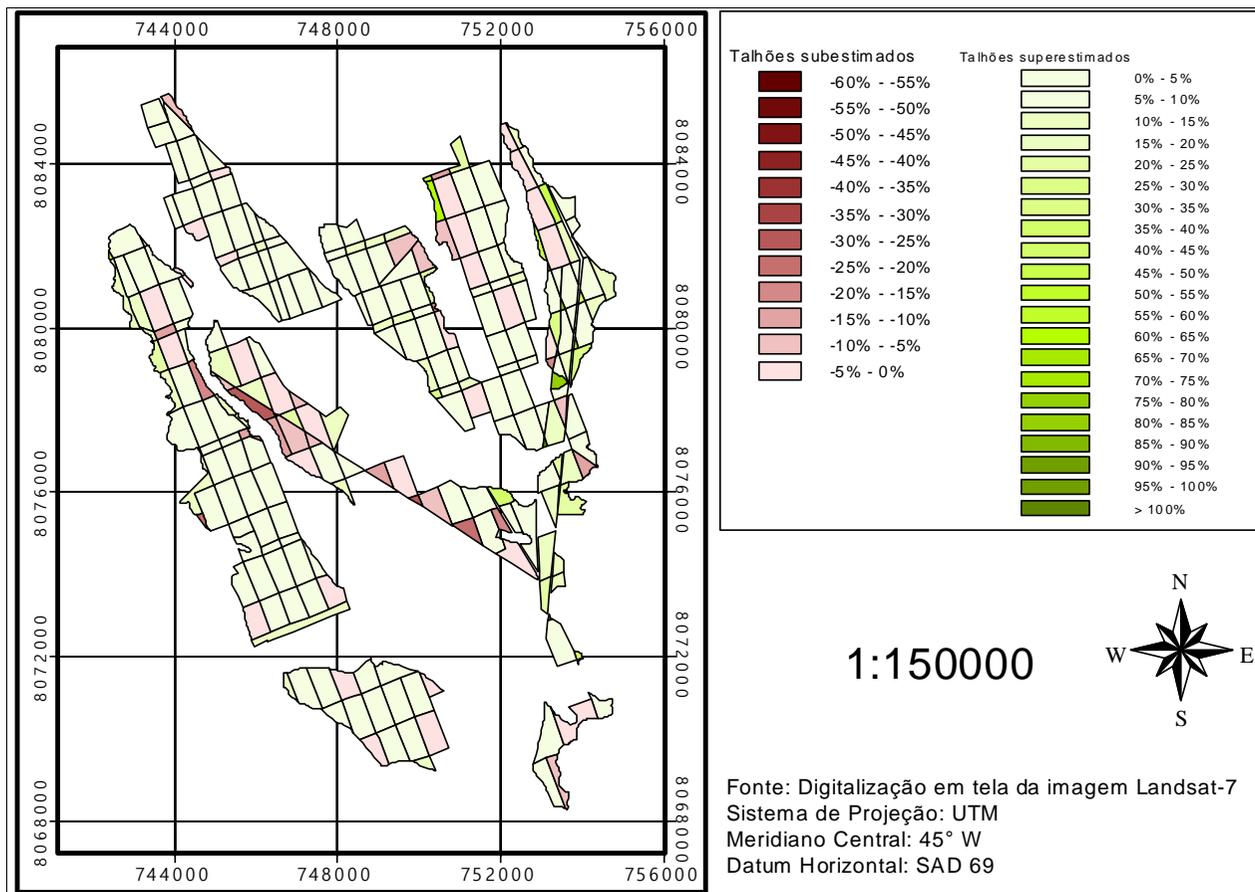


Fonte: Quadro 2A.

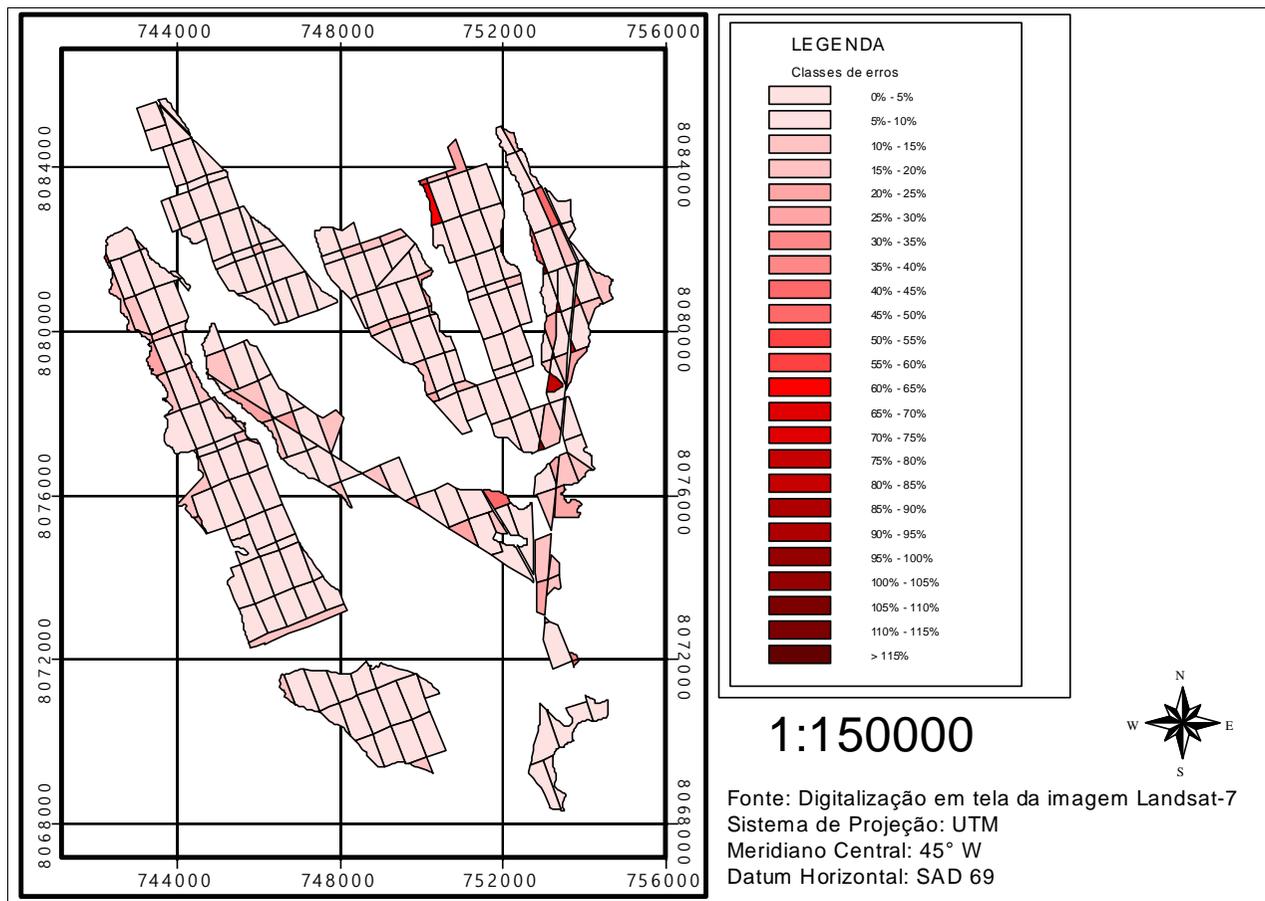
Figura 22 - Distribuição de freqüência dos erros, considerando classes com amplitude de 5%.

Quadro 12. Síntese do Quadro 10, com os valores dos erros tomados em módulo

Classes de erro(%)	PM(%)		Freqüência			Freqüência relativa (%)		
	PM1	PM2	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total
0┊	5	2,5	63	60	123	61,17	39,74	48,43
5┊	10	7,5	20	36	56	19,42	23,84	22,05
10┊	15	12,5	9	23	32	8,74	15,23	12,60
15┊	20	17,5	4	7	11	3,88	4,64	4,33
Total			96	126	222	93,20	83,44	87,40



Fonte: Quadro 10.
 Figura 23 - Distribuição espacial dos erros, agrupados segundo sub e superestimação dos talhões.

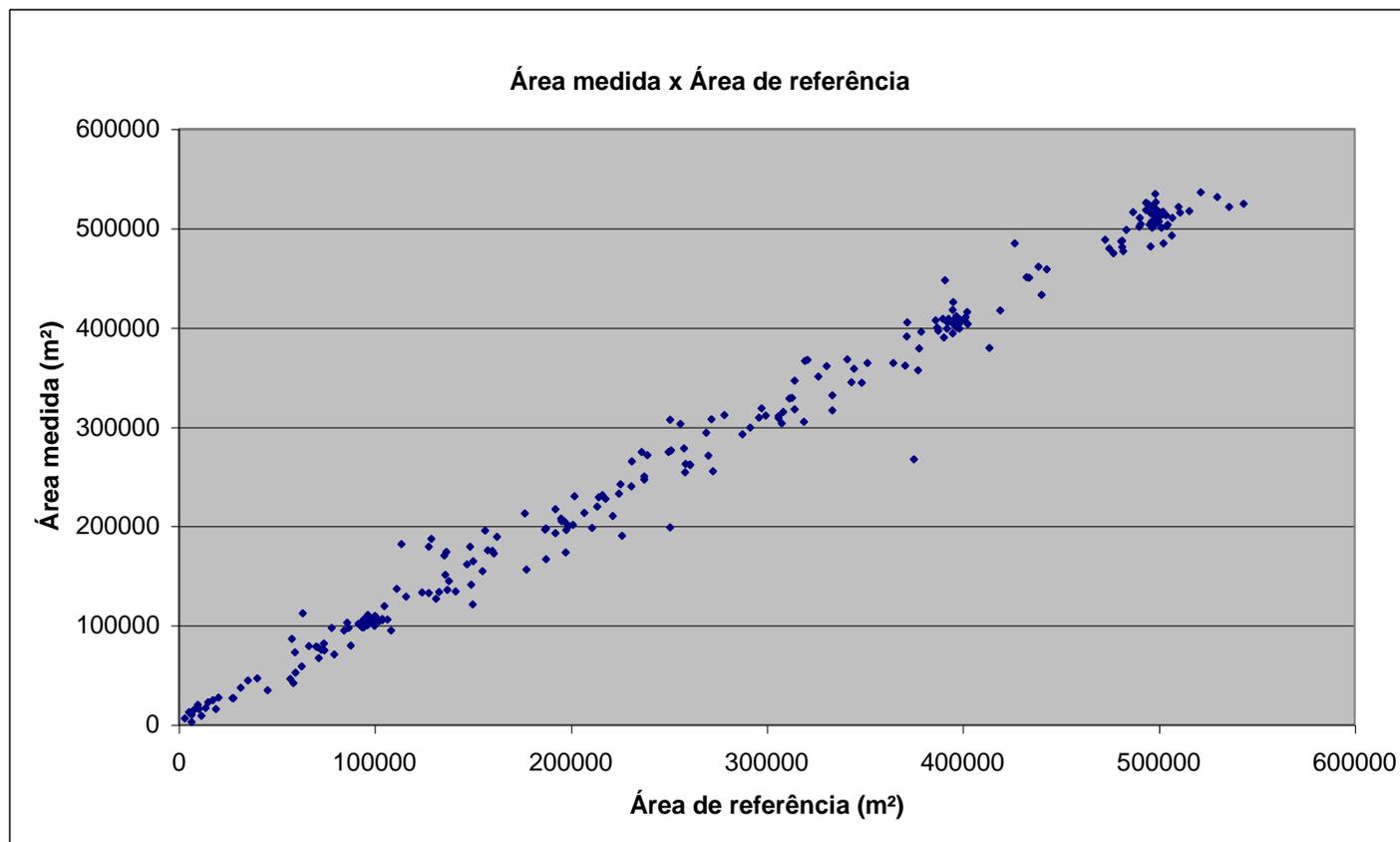


Fonte: Quadro 10.
 Figura 24 - Distribuição espacial dos erros, considerados em valor absoluto.

Quadro 13 - Distribuição das áreas dos talhões em classes com amplitude de cinco hectares e estatísticas do erro dentro de cada uma delas.

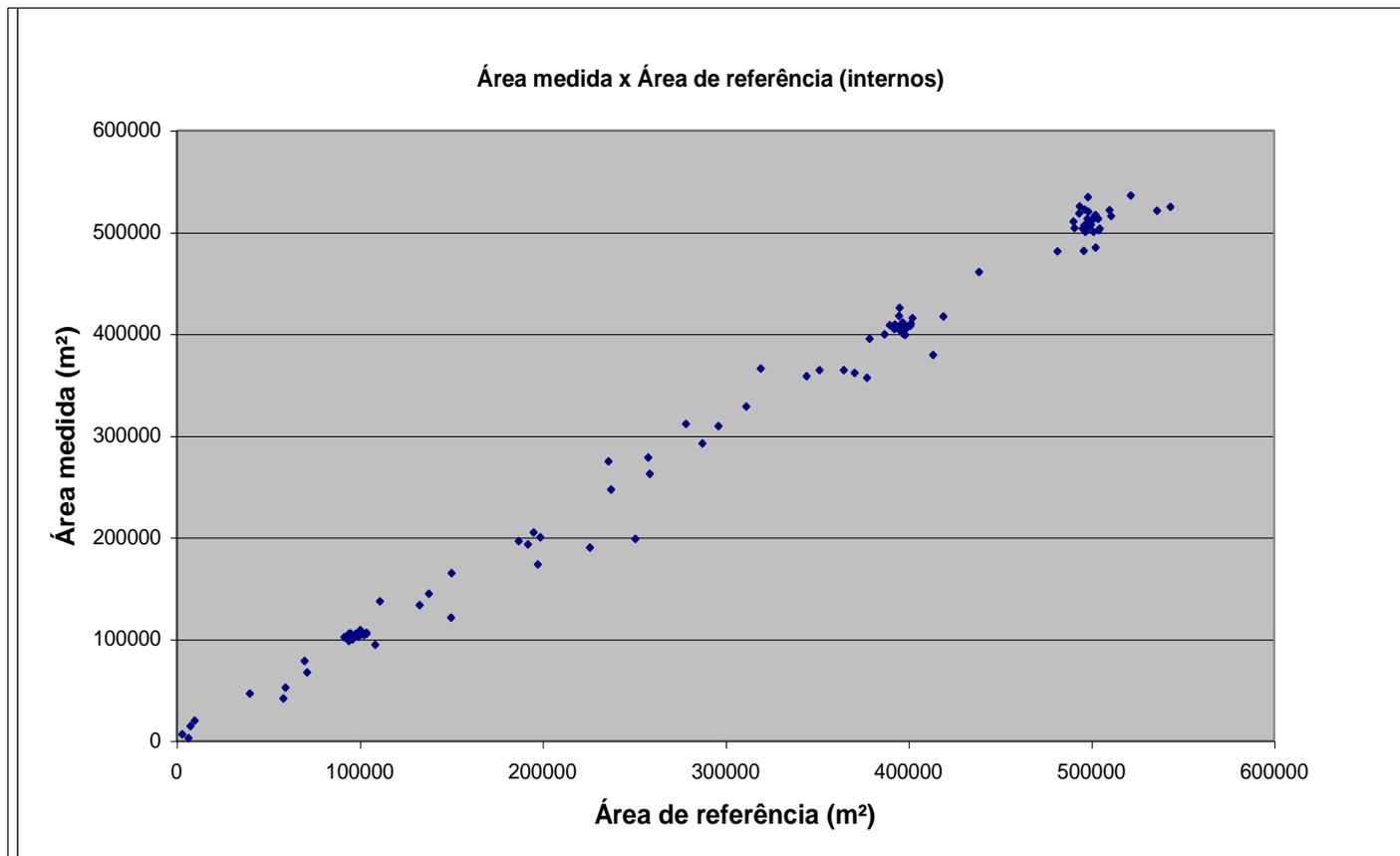
Classes de área(ha)	Ponto médio (ha)	Frequência			Erro médio(%)			Desvio-padrão(%)			Erro Mínimo(%)			Erro Máximo(%)			
		tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	
0,2800	5,2800	2,7800	7	16	23	29,0	26,1	27,0	64,9	44,0	49,7	-56,2	-25,3	-56,2	100,6	145,3	145,3
5,2800	10,2800	7,7800	8	15	23	2,6	9,7	7,2	8,3	15,5	13,6	-12,8	-10,8	-12,8	12,1	49,5	49,5
10,2800	15,2800	12,7800	14	19	33	5,0	10,5	8,2	9,0	17,8	14,8	-19,2	-5,5	-19,2	23,1	78,0	78,0
15,2800	20,2800	17,7800	7	19	26	-4,8	14,4	9,2	11,5	19,4	19,5	-20,8	-12,0	-20,8	9,6	60,3	60,3
20,2800	25,2800	22,7800	2	15	17	4,5	6,4	6,2	0,7	5,9	5,5	4,0	-5,1	-5,1	5,0	20,5	20,5
25,2800	30,2800	27,7800	4	13	17	6,9	3,3	4,1	7,0	12,1	11,0	1,4	-28,8	-28,8	16,4	18,2	18,2
30,2800	35,2800	32,7800	3	17	20	7,3	3,7	4,2	4,1	6,9	6,6	4,4	-5,1	-5,1	11,9	22,5	22,5
35,2800	40,2800	37,7800	11	9	20	1,3	4,5	2,8	6,0	5,1	5,7	-8,3	-0,2	-8,3	14,6	14,6	14,6
40,2800	45,2800	42,7800	14	7	21	3,2	5,1	3,8	2,0	5,4	3,5	-0,4	-1,7	-1,7	7,6	14,5	14,5
45,2800	50,2800	47,7800	7	11	18	-0,2	2,3	1,3	2,8	4,3	3,9	-3,5	-2,8	-3,5	5,1	13,7	13,7
50,2800	55,2800	52,7800	26	10	36	2,4	3,1	2,6	2,3	2,3	2,3	-3,4	0,3	-3,4	7,3	6,1	7,3
55,2800	60,2800	57,7800	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			103	151	254												

Fonte: Quadro 2A.



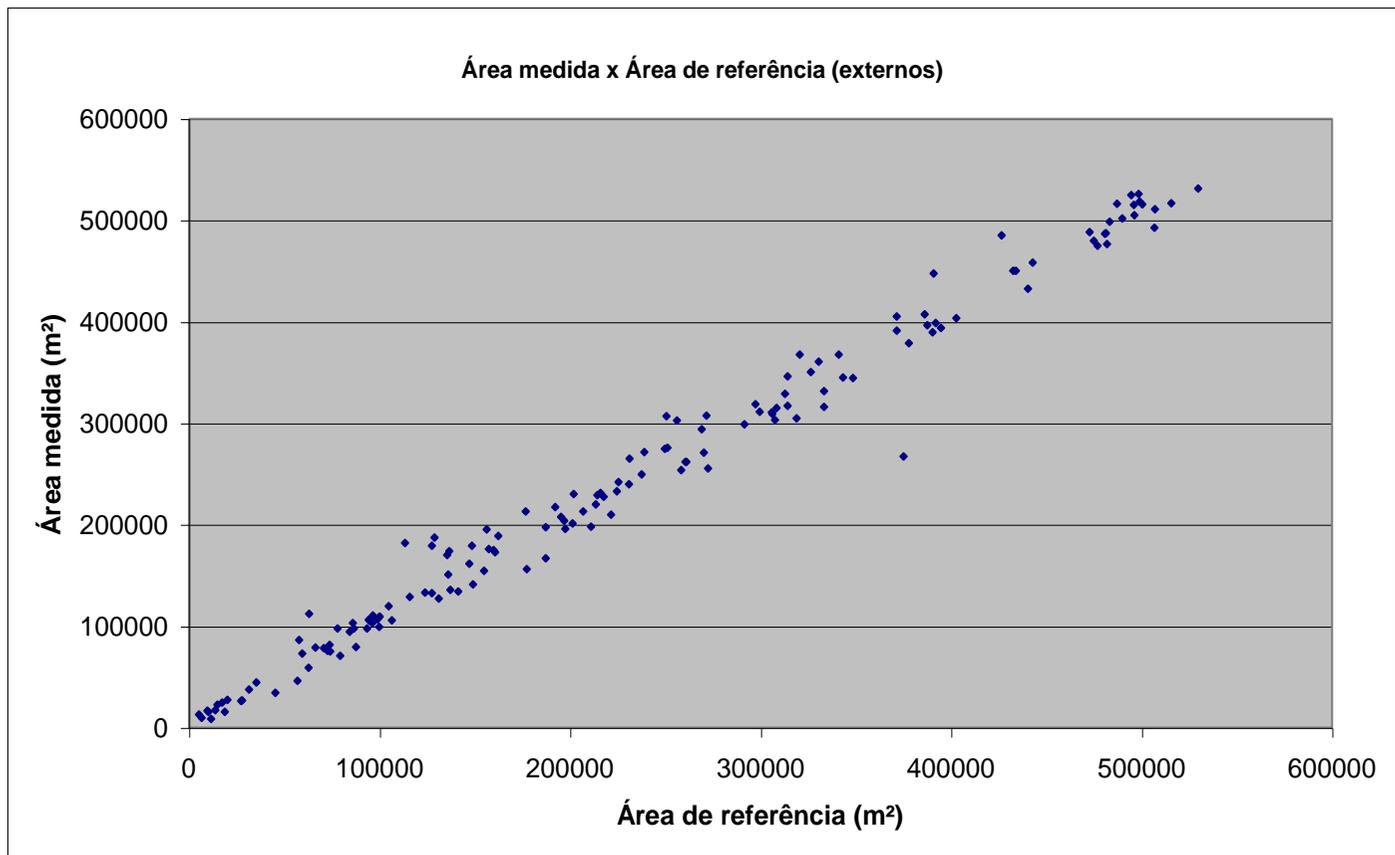
Fonte: Quadro 2A.

Figura 25 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se todos os talhões.



Fonte: Quadro 2a.

Figura 26 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões internos.



Fonte: Quadro 2A.

Figura 27 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões de borda.

4.1.3 Digitalização em tela da imagem CBERS-1 CCD

No georreferenciamento da imagem obteve-se um RMS de 9,0 m (45,5% do pixel). O tempo total demandado foi de seis horas (quatro de digitalização e duas de edição). Considerando que 51 talhões foram digitalizados, tem-se um tempo estimado de aproximadamente 7' por talhão.

Comparando, de modo geral, com os resultados encontrados anteriormente nas digitalizações da imagem Landsat (em tela e em mesa), observa-se comportamento similar. Assim, as considerações feitas anteriormente podem ser estendidas para a digitalização em tela da imagem CBERS.

Novamente, manteve-se tendência de superestimação das áreas, conforme ilustrado na Figura 28, que fornece o comportamento geral dos erros em relação ao tamanho das áreas dos talhões, através de um diagrama de dispersão. Considerando os valores da variável erro em módulo, pode-se verificar que os erros maiores ocorrem para os talhões de áreas menores, seguindo uma tendência de queda e de estabilização à medida que os valores da variável área aumentam. Conforme o Quadro 14, dos 51 talhões digitalizados, 41 (80,39%) foram superestimados; dos 27 talhões classificados como internos, 21 (77,78%) foram superestimados, conforme ilustra a Figura 29; e dos 24 talhões classificados como de borda, 20 (83,33%) foram superestimados, conforme ilustra a Figura 30.

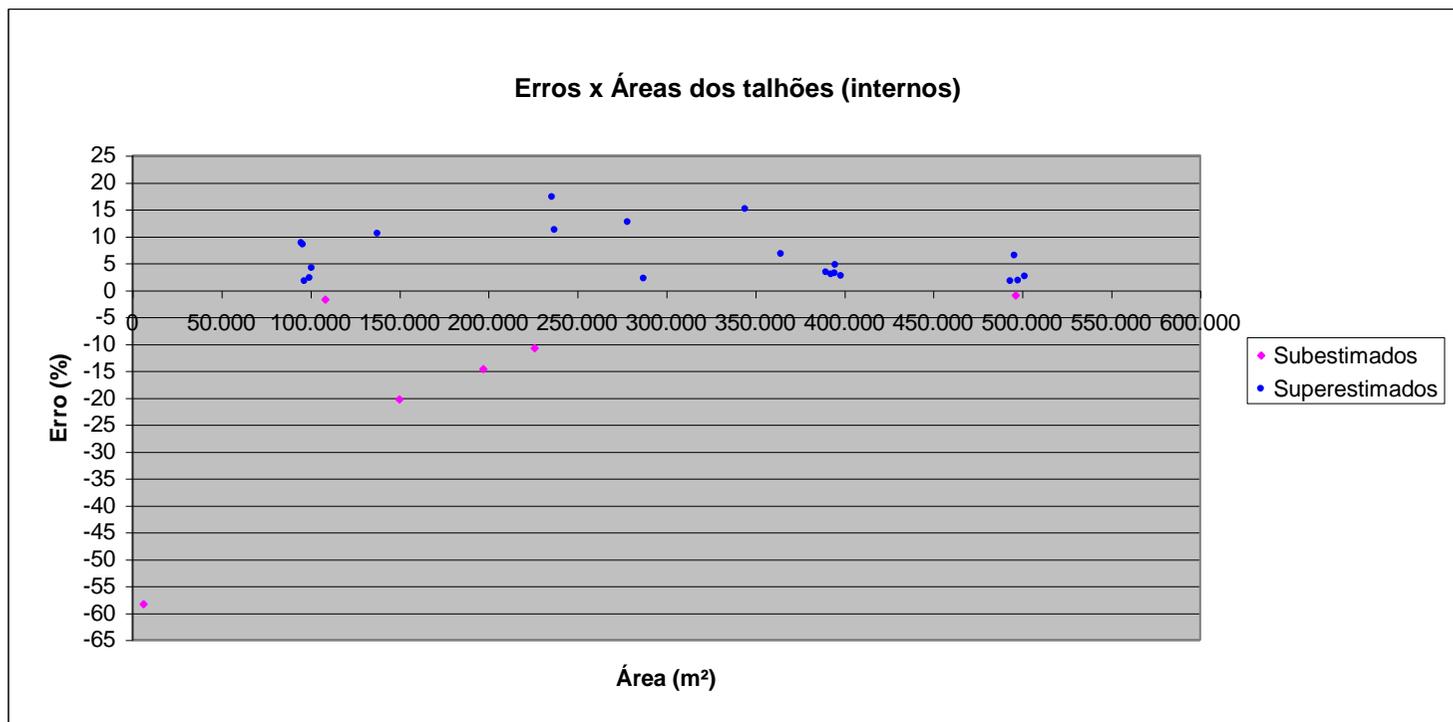
A distribuição de freqüência dos erros, indicada no Quadro 14 e na Figura 31, mostra uma distribuição aproximadamente normal, com as médias e o desvio-padrão indicados no Quadro 15. Manteve-se também uma concentração de freqüências no intervalo de -10 a 20% para os talhões como um todo ou subdivididos nas classes 1 e 2, conforme indica o Quadro 14, sintetizado no Quadro 16, onde os valores foram tomados em módulo. Análise do Quadro 16 mostra que cerca de 47,06% dos talhões (24) estão na faixa de 0 a 5% de erros e que 64,71% (33 talhões) estão na faixa de 0 a 10% de erros. Analisando por classe de talhão, os internos apresentam freqüência relativa de 51,85% (14) para o intervalo de 0 a 5% de erros e de 66,66% (18) para o intervalo de 0 a 10%. Já para os talhões de borda, as freqüências relativas seriam de 41,67% (10) e 62,50% (15), respectivamente. Comparando as freqüências relativas totais deste quadro com as dos Quadros 8 e 12, resultantes das digitalizações em

mesa e tela da imagem Landsat, respectivamente, observa-se que os resultados são similares.

A Figura 32 apresenta a distribuição espacial dos erros, agrupados segundo a sub e superestimação dos talhões, com o gradiente de cores variando de acordo com as classes de erros do Quadro 14. Já na Figura 33, os valores de erros foram tomados em módulo.

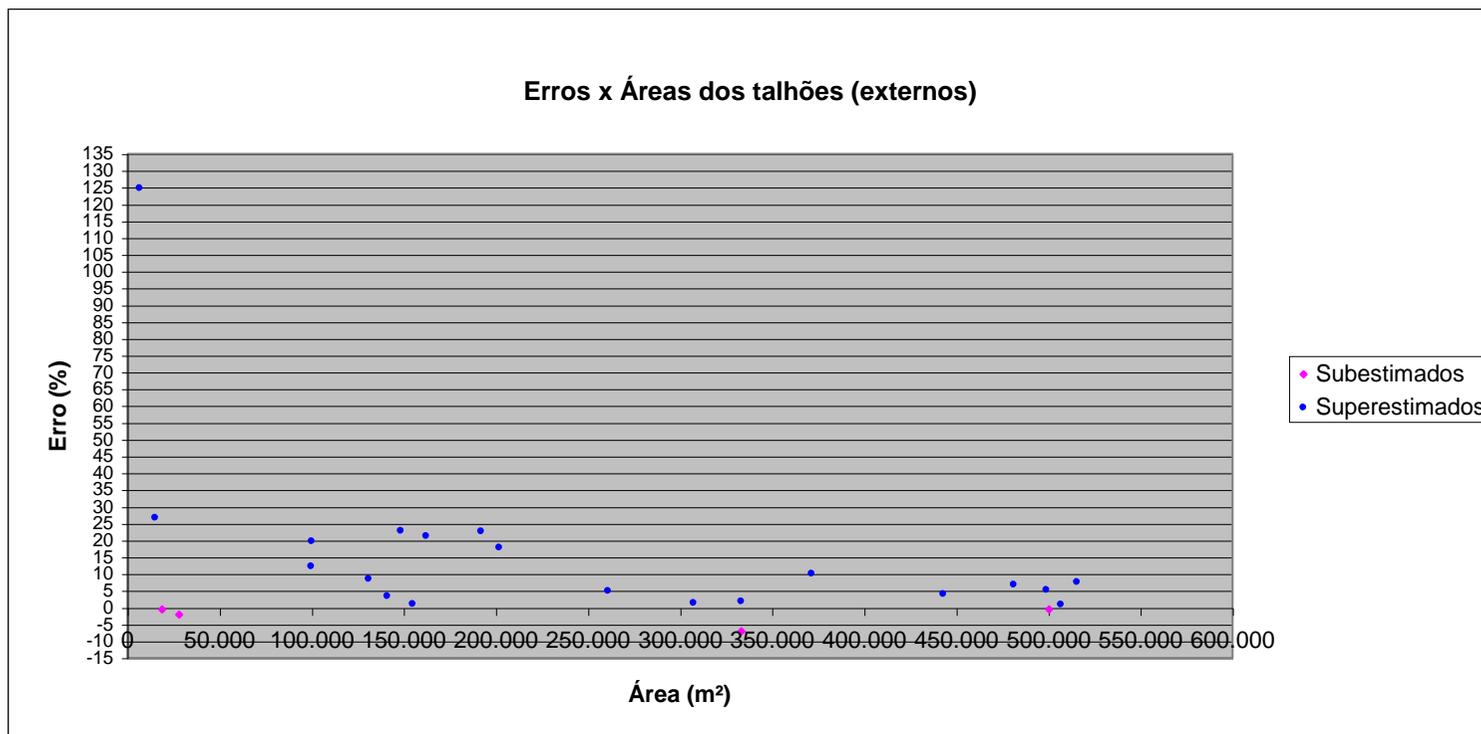
Quanto à distribuição do tamanho das áreas dos talhões, conforme Quadro 17, deve-se lembrar que para a imagem CBERS-1 foram digitalizados apenas 20% dos talhões, sendo o sorteio realizado dentro de cada classe de área. Verifica-se que, para os talhões internos, 48,1% (13) apresentam área superior a 30,2800 ha. Para os de borda, apenas 41,7% (10) deles. Embora tenha havido sorteio, verifica-se que a maior parte dos talhões é do tipo interno – 27 (52,9%) contra 24 (47,1%) dos de borda, contrariando a tendência geral da área, que teve 40,6% dos talhões classificados como internos e 59,4% como de borda.

A Figura 34 traz o diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área digitalizada em tela da imagem CBERS e área de referência, considerando-se todos os talhões. Observa-se a alta correlação existente entre as duas variáveis. O coeficiente de determinação foi de 0,989. No caso dos talhões internos (Figura 35) e de borda (Figura 36), os coeficientes encontrados foram de 0,988 e 0,991, respectivamente.



Fonte: Quadro 3A.

Figura 29 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em tela da imagem CBERS-1 em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se apenas os talhões internos.



Fonte: Quadro 3A.

Figura 30 - Diagrama de dispersão indicando o comportamento (associação) dos erros cometidos na digitalização em tela da imagem CBERS-1 em relação ao tamanho dos talhões, considerando-se apenas os talhões de borda.

Quadro 14 - Distribuição de freqüência dos erros em classes com amplitude de 5%

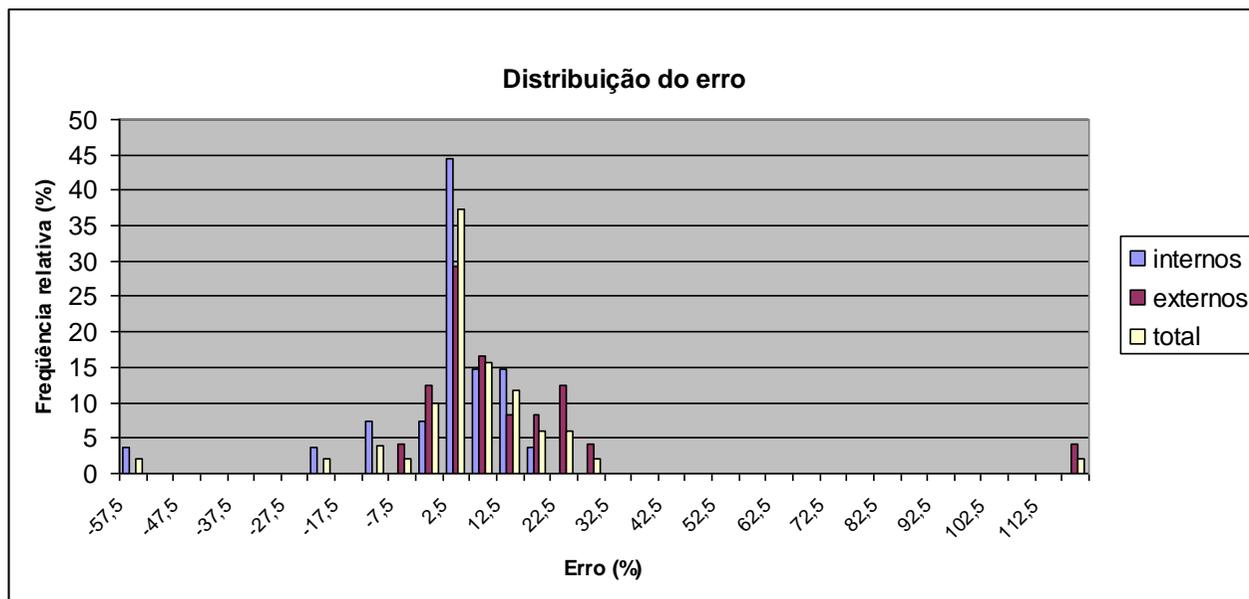
Classes de erro(%)	PM(%)	Freqüência			Freqüência relativa (%)			
		internos	de borda	total	internos	de borda	total	
-60	-55	-57,5	1	0	1	3,7	0,0	2,0
-55	-50	-52,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
-50	-45	-47,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
-45	-40	-42,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
-40	-35	-37,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
-35	-30	-32,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
-30	-25	-27,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
-25	-20	-22,5	1	0	1	3,7	0,0	2,0
-20	-15	-17,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
-15	-10	-12,5	2	0	2	7,4	0,0	3,9
-10	-5	-7,5	0	1	1	0,0	4,2	2,0
-5	0	-2,5	2	3	5	7,4	12,5	9,8
0	5	2,5	12	7	19	44,4	29,2	37,3
5	10	7,5	4	4	8	14,8	16,7	15,7
10	15	12,5	4	2	6	14,8	8,3	11,8
15	20	17,5	1	2	3	3,7	8,3	5,9
20	25	22,5	0	3	3	0,0	12,5	5,9
25	30	27,5	0	1	1	0,0	4,2	2,0
30	35	32,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
35	40	37,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
40	45	42,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
45	50	47,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
50	55	52,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
55	60	57,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
60	65	62,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
65	70	67,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
70	75	72,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
75	80	77,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
80	85	82,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
85	90	87,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
90	95	92,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
95	100	97,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
100	105	102,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
105	110	107,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
110	115	112,5	0	0	0	0,0	0,0	0,0
> 115		124	0	1	1	0,0	4,2	2,0
Total			27	24	51	100,0	100,0	100,0

Fonte: Quadro 3A.

Quadro 15 - Erro médio e desvio-padrão cometidos na digitalização em tela da imagem CBERS-1

Talhões	Erro médio (%)	Desvio-padrão (%)
Todos	6,55	20,88
Internos	0,80	14,10
De borda	13,03	24,96

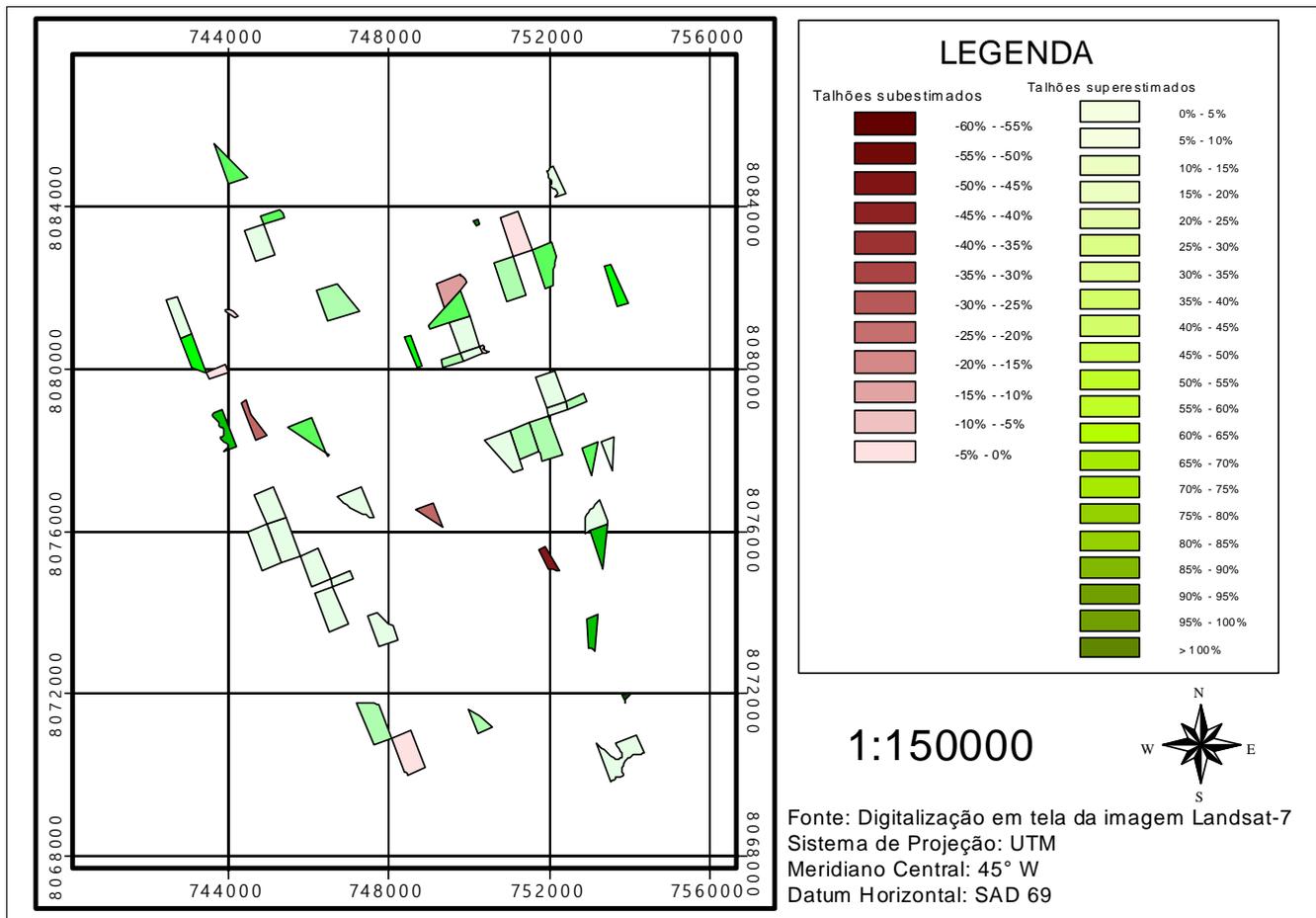
Fonte: Quadro 3A.



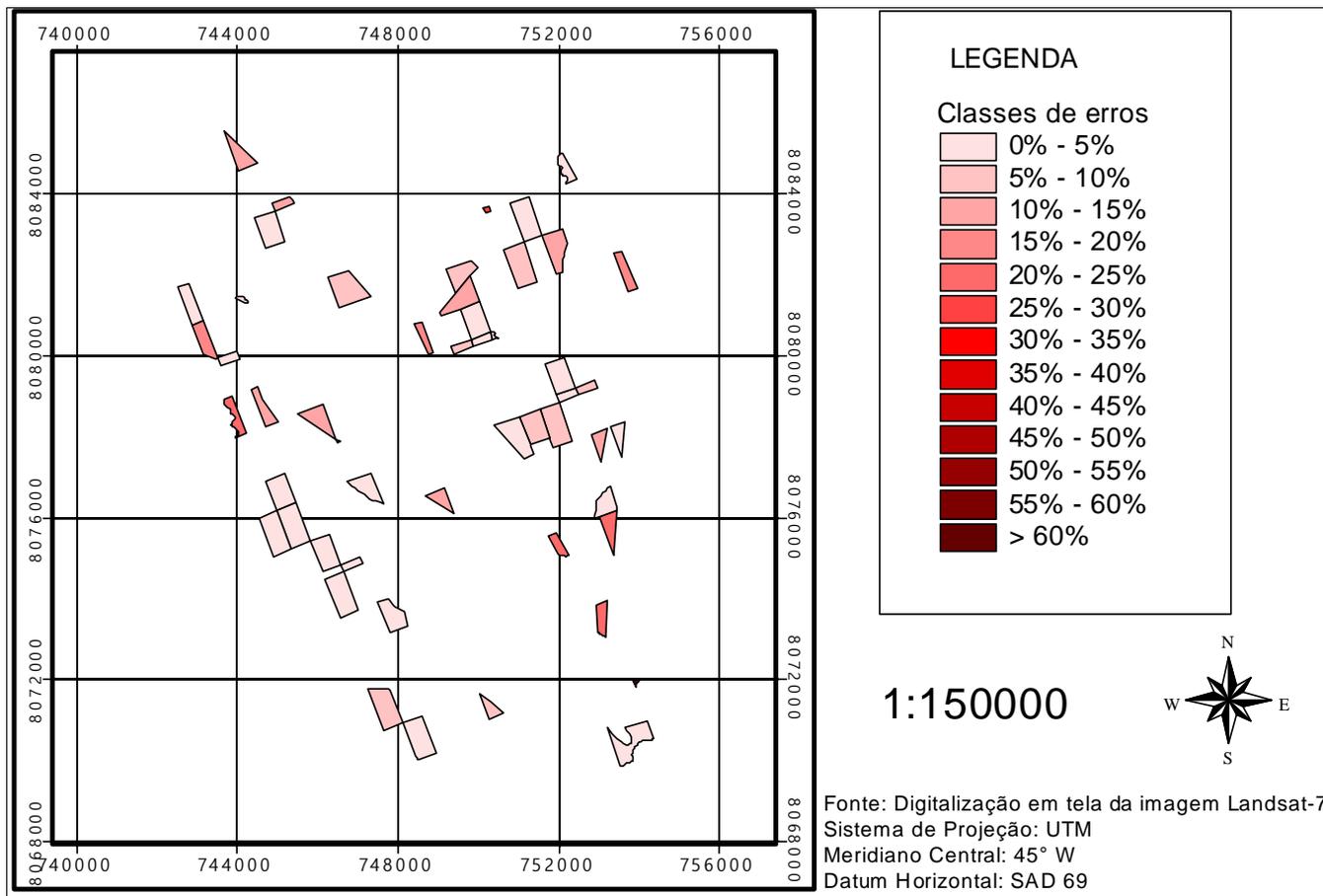
Fonte: Quadro 14.
 Figura 31 - Distribuição de frequência dos erros, considerando-se classes com amplitude de 5%.

Quadro 16 - Síntese do Quadro 14, com os valores dos erros tomados em módulo

Classes de erro(%)	PM(%)	Frequência			Frequência relativa (%)			
		tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	
0	5	2,5	14	10	24	51,85	41,67	47,06
5	10	7,5	4	5	9	14,81	20,83	17,65
10	15	12,5	6	2	8	22,22	8,33	15,69
15	20	17,5	1	2	3	3,70	8,33	5,88
Total			25	19	44	92,59	79,17	86,27



Fonte: Quadro 14.
 Figura 32 - Distribuição espacial dos erros, agrupados segundo sub e superestimação dos talhões.

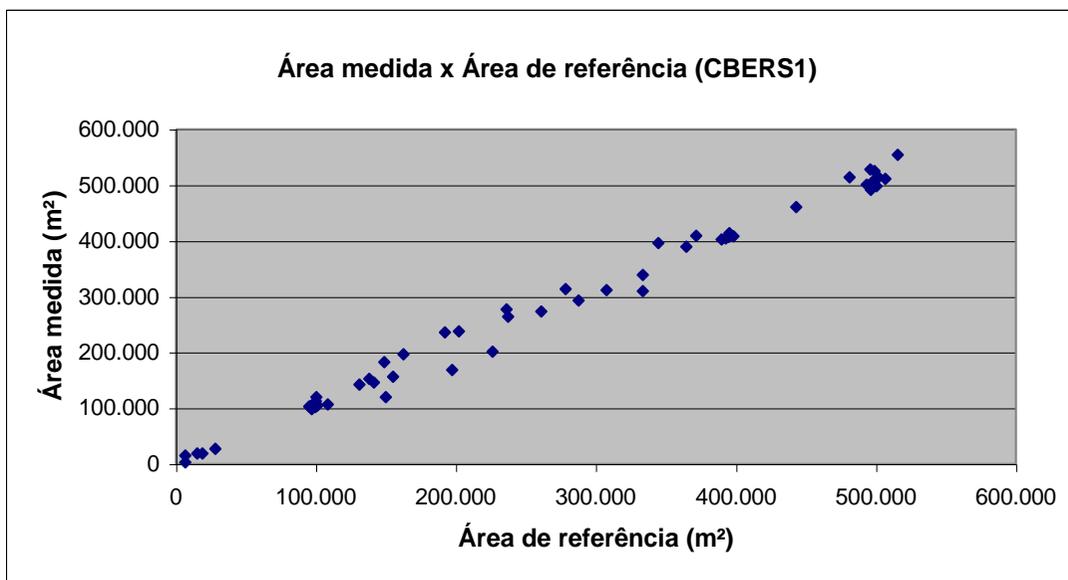


Fonte: Quadro 14.
 Figura 33 - Distribuição espacial dos erros, considerados em valor absoluto.

Quadro 17 - Distribuição das áreas dos talhões em classes com amplitude de cinco hectares e estatísticas do erro dentro de cada uma delas

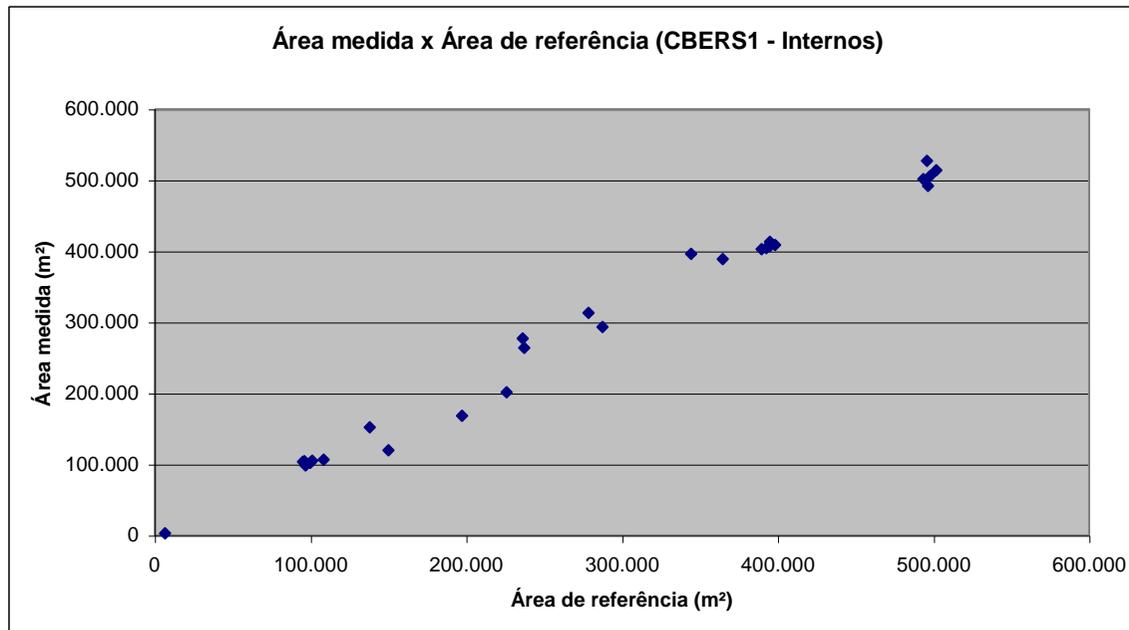
Classes de área(ha)	Ponto médio (ha)	Frequência total	Erro médio(%)			Desvio-padrão(%)			Erro Mínimo(%)			Erro Máximo(%)					
			tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total	tipo 1	tipo 2	total			
0,2800	5,2800	2,7800	1	4	5	-58,4	37,2	18,1	0,0	59,9	67,2	-58,4	-2,2	-58,4	-58,4	124,8	124,8
5,2800	10,2800	7,7800	2	0	2	1,9	-	1,9	0,4	-	0,4	1,6	-	1,6	2,1	-	2,1
10,2800	15,2800	12,7800	6	4	10	1,6	10,9	5,3	11,6	6,9	10,7	-20,4	3,3	-20,4	10,4	19,7	19,7
15,2800	20,2800	17,7800	2	3	5	-12,8	15,0	3,9	2,7	12,1	17,5	-14,7	1,1	-14,7	-10,8	22,8	22,8
20,2800	25,2800	22,7800	0	2	2	-	20,2	20,2	-	3,5	3,5	-	17,7	17,7	-	22,6	22,6
25,2800	30,2800	27,7800	3	1	4	10,2	4,9	8,8	7,7	0,0	6,8	2,1	4,9	2,1	17,3	4,9	17,3
30,2800	35,2800	32,7800	1	3	4	12,6	-1,3	2,2	0,0	4,9	8,0	12,6	-7,0	-7,0	12,6	1,7	12,6
35,2800	40,2800	37,7800	3	0	3	8,3	-	8,3	6,0	-	6,0	3,3	-	3,3	15,0	-	15,0
40,2800	45,2800	42,7800	4	1	5	3,3	10,1	4,6	0,9	0,0	3,1	2,6	10,1	2,6	4,6	10,1	10,1
45,2800	50,2800	47,7800	2	2	4	0,3	1,7	1,0	1,8	3,2	2,3	-1,0	-0,5	-1,0	1,6	4,0	4,0
50,2800	55,2800	52,7800	3	3	6	3,5	4,3	3,9	2,5	3,0	2,5	1,7	0,9	0,9	6,4	6,7	6,7
55,2800	60,2800	57,7800	0	1	1	-	7,5	7,5	-	0,0	0,0	-	7,5	7,5	-	7,5	7,5
Total			27	24	51												

Fonte: Quadro 3A.



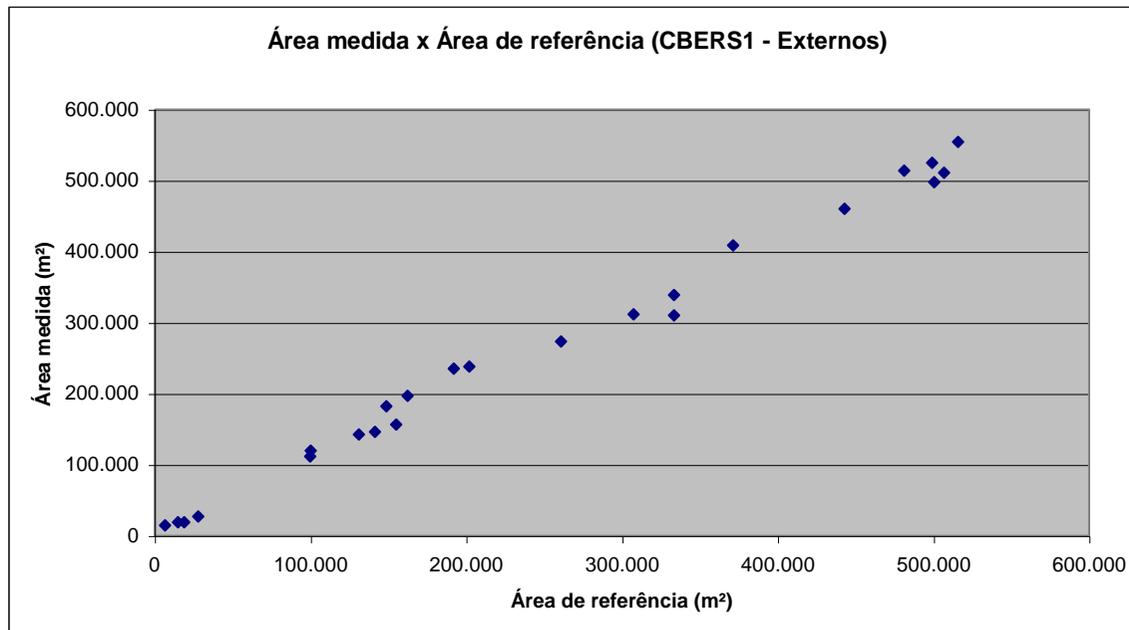
Fonte: Quadro 3A.

Figura 34 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis áreas de referência e área medida, considerando-se todos os talhões.



Fonte: Quadro 3A.

Figura 35 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões internos.



Fonte: Quadro 3A.

Figura 36 - Diagrama de dispersão indicando a associação entre as variáveis área de referência e área medida, considerando-se apenas os talhões de borda.

4.2 Avaliação conjunta dos métodos

O Quadro 18 traz a soma das áreas dos talhões (para os 254 talhões) por classe de talhão para o mapeamento tomado como referência (GPS) e as correspondentes obtidas via digitalização da imagem Landsat (em mesa e em tela), bem como a diferença percentual entre elas. Quando se comparam os resultados provenientes da digitalização em mesa (coluna 3) com aqueles tomados como referência (coluna 2), verifica-se uma superestimação. Analisando por classe de talhão, através da diferença percentual (coluna 4), observa-se que os talhões classificados como internos apresentaram erro menor, o que era esperado. Essa maior discrepância para os talhões de borda pode ser justificada lembrando-se que eles apresentaram maior grau de dificuldade na identificação de seus limites no processo de digitalização. No caso dos resultados oriundos da digitalização em tela, esse comportamento se mantém. Quando se comparam as duas colunas referentes à diferença percentual (4 e 6), verifica-se que a maior discrepância entre as digitalizações em mesa e tela ocorre para a classe dos talhões de borda. Vale ressaltar que a digitalização em tela permite trabalhar com variações de *zoom* (diferentes escalas) e diferentes tipos de realce de contraste, facilitando a identificação dos limites dos talhões, principalmente em regiões de menor contraste, gerando assim menores erros para os talhões de borda (4,7%) quando comparada à digitalização em mesa (6,0%).

Quadro 18 - Comparação entre as áreas obtidas via digitalização da imagem Landsat (em mesa e em tela) com a referência, e as correspondentes diferenças percentuais, considerando-se os 254 talhões digitalizados

Classes	Referência	Landsat (mesa)	Landsat (mesa)	Landsat (tela)	Landsat (tela)
Talhões	Área (ha)	Área (ha)	Diferença (%)	Área (ha)	Diferença (%)
Internos	3.238,6706	3.308,4088	2,2	3.305,1600	2,1
De borda	3.501,5002	3.711,6328	6,0	3.665,7296	4,7
Total	6.740,1709	7.020,0416	4,2	6.970,8896	3,4

O Quadro 19 traz a soma das áreas dos talhões (para a amostra de 51 talhões obtidos por sorteio) por classe de talhão para o mapeamento tomado como referência (GPS) e as correspondentes obtidas via digitalização das imagens Landsat (em mesa e em tela) e CBERS, bem como a diferença percentual entre elas. Também na amostra, as metodologias avaliadas superestimam as áreas. Comparando as colunas 6 e 8, referentes às diferenças percentuais para as digitalizações em tela, verifica-se

que a digitalização da imagem Landsat apresentou melhores resultados do que a digitalização da imagem CBERS. Aqui deve-se considerar que os sensores ETM+ e CCD possuem resolução espacial de 15 e 20 m, respectivamente. Ao comparar as colunas 4, 6 e 8, observa-se que os resultados provenientes da digitalização em mesa da imagem Landsat estão mais próximos aos da digitalização em tela da imagem CBERS, ambas inferiores à digitalização em tela do Landsat.

Quadro 19 - Comparação entre as áreas obtidas via digitalização das imagens Landsat (em mesa e em tela) e CBERS1 (em tela) com a referência, e as correspondentes diferenças percentuais, considerando-se os mesmos 51 talhões da amostra para cada uma das metodologias

Classes Referência	Landsat (mesa)	Landsat (mesa)	Landsat (tela)	Landsat (tela)	CBERS1 (tela)	CBERS1 (tela)	
Talhões	Área (ha)	Área (ha)	Diferença (%)	Área (ha)	Diferença (%)	Área (ha)	Diferença (%)
Internos	752,0343	775,5390	3,1	768,7903	2,2	777,2612	3,4
De borda	595,4593	627,5678	5,4	610,8921	2,6	631,6440	6,1
Total	1.347,4935	1.403,1068	4,1	1.379,6824	2,4	1408,9052	4,6

Comentado [WDG16]: Arquivo TabelacomAsSommasGerisDeArea.xls

4.3 Análise estatística da digitalização

Embora as análises realizadas até o momento tragam informações relevantes sobre a magnitude e o comportamento dos erros que se cometem ao obter áreas de talhões a partir da digitalização de imagens orbitais, elas não são suficientes para uma inferência mais segura. Para isso, devem-se analisar também os Quadros 20 e 21, que trazem os resultados das comparações entre as três metodologias (segundo o número de talhões avaliados e as subdivisões destes em classes) e o padrão tomado como referência, que foi o mapeamento realizado com GPS. A análise desses quadros deveria fornecer informações que pudessem responder três questões: 1. poderia ou não ser adotada uma das metodologias e em que circunstâncias?; 2. os melhores resultados foram provenientes da digitalização em mesa ou em tela?; e 3. no caso da digitalização em tela, os melhores resultados foram provenientes da imagem Landsat ou da imagem CBERS?

No Quadro 20 são comparados os resultados obtidos através das digitalizações em mesa e em tela da imagem Landsat com o método-padrão, considerando os 254 talhões digitalizados e suas subdivisões em classes, conforme o Quadro 4. Deve-se lembrar que três condições devem ser satisfeitas para a igualdade entre as variáveis, conforme o Quadro 5. Observa-se que em todos os casos houve diferença estatística entre as metodologias utilizadas e aquela considerada como padrão. Em todos, os coeficientes angular e linear foram considerados estatisticamente iguais a 1 e a 0, respectivamente, pelo teste F, e o coeficiente de correlação atendeu à condição préestabelecida pelo teste. Nota-se que a restrição está relacionada à significância do teste t. Esperava-se que os talhões classificados como internos, casos *b* e *e*, apresentassem como conclusão uma igualdade estatística entre as variáveis, o que não ocorreu na prática. Conseqüentemente, se fosse considerado que o erro está dentro de limites aceitáveis e uma substituição integral do método-padrão pela metodologia de digitalização, pelo procedimento estatístico proposto por LEITE & OLIVEIRA (2002), em nível de 5% de probabilidade, tanto a digitalização em tela quanto a em mesa poderiam ser adotadas, visto que ambas foram estatisticamente diferentes do método-padrão. Reportando-se ao que foi discutido nos tópicos anteriores, a digitalização em tela apresentaria alguma vantagem.

Quadro 20 - Comparação entre os diversos métodos de obtenção das áreas e a referência, considerando-se os 254 talhões digitalizados e suas subdivisões em classes

Caso	Variável Y1	Variável Yj	Classe	r_{Y_j, Y_1}	F(Ho)	$t_{\bar{e}}$	$r_{Y_j, Y_1} > (1 - \bar{e})$	Conclusão
a	Referência	Mesa-Landsat-7	1 e 2	0,993	< 1 ^{ns}	7,528*	Sim	Yj ≠ Y1
b	Referência	Mesa-Landsat-7	1	0,995	< 1 ^{ns}	2,753*	Sim	Yj ≠ Y1
c	Referência	Mesa-Landsat-7	2	0,991	< 1 ^{ns}	7,782*	Sim	Yj ≠ Y1
d	Referência	Tela-Landsat-7	1 e 2	0,994	< 1 ^{ns}	5,995*	Sim	Yj ≠ Y1
e	Referência	Tela-Landsat-7	1	0,996	< 1 ^{ns}	2,388*	Sim	Yj ≠ Y1
f	Referência	Tela-Landsat-7	2	0,992	< 1 ^{ns}	5,781*	Sim	Yj ≠ Y1

* e ns denotam significância e não-significância, respectivamente. $\alpha = 5\%$.

No Quadro 21 são comparados os resultados obtidos pelos três métodos alternativos com o método-padrão, mas agora considerando apenas os 51 talhões sorteados e suas subdivisões em classes. De certa forma, os resultados da amostra contradizem aqueles obtidos quando se consideram os 254 talhões, pois os casos *h*, *j*, *k*, *l* e *n* apresentaram como conclusão uma igualdade estatística entre os métodos alternativos e o padrão. Como provável justificativa, conforme visto anteriormente, embora tenha havido um sorteio, o número de talhões classificados como internos foi superior ao dos talhões classificados como de borda (27 contra 24). Nesta amostra, a área média dos talhões foi de 26,4214 ha, com desvio-padrão de 16,4289 ha. Os resultados da digitalização em mesa da imagem Landsat e da digitalização em tela da imagem CBERS mantiveram o mesmo comportamento: apresentaram diferença estatística nos casos em que se consideravam as classes 1 e 2 simultaneamente (casos *g* e *m*) e nos casos dos talhões de borda (casos *i* e *o*). Já para a digitalização em tela da imagem Landsat, ocorreu igualdade estatística em todos os casos (*j*, *k* e *l*). Dessa forma, poder-se-ia dizer que, entre as duas digitalizações em tela, a realizada sobre a imagem Landsat apresentou resultados superiores àquela realizada sobre a imagem CBERS. Os casos *j*, *k* e *l* também reforçam a idéia de que a digitalização em tela foi superior à digitalização em mesa.

Comentado [WDG17]: Desvio padrão AMOSTRAL

Quadro 21 - Comparação entre os diversos métodos de obtenção das áreas de cada talhão e a referência, considerando-se os 51 talhões digitalizados segundo o sorteio e suas subdivisões em classes

Caso	Variável Y1	Variável Yj	Classe	$r_{Y_j Y_1}$	F(Ho)	$t_{\bar{e}}$	$r_{Y_j Y_1} > (1 - \bar{e})$	Conclusão
g	Referência	Mesa-Landsat-7	1 e 2	0,995	< 1 ^{ns}	3,037*	Sim	Yj ≠ Y1
h	Referência	Mesa-Landsat-7	1	0,995	< 1 ^{ns}	0,663 ^{ns}	Sim	Yj = Y1
i	Referência	Mesa-Landsat-7	2	0,995	< 1 ^{ns}	3,749*	Sim	Yj ≠ Y1
j	Referência	Tela-Landsat-7	1 e 2	0,996	< 1 ^{ns}	1,272 ^{ns}	Sim	Yj = Y1
k	Referência	Tela-Landsat-7	1	0,995	< 1 ^{ns}	0,182 ^{ns}	Sim	Yj = Y1
l	Referência	Tela-Landsat-7	2	0,997	< 1 ^{ns}	1,970 ^{ns}	Sim	Yj = Y1
m	Referência	Tela-CBERS1	1 e 2	0,995	< 1 ^{ns}	2,218*	Sim	Yj ≠ Y1
n	Referência	Tela-CBERS1	1	0,994	< 1 ^{ns}	0,284 ^{ns}	Sim	Yj = Y1
o	Referência	Tela-CBERS1	2	0,996	< 1 ^{ns}	2,504*	Sim	Yj ≠ Y1

* e ns denotam significância e não-significância, respectivamente. $\alpha = 5\%$.

4.4 Análise do coeficiente de deformação superficial do sistema de projeção UTM

4.4.1 Avaliação gráfica

Observando as Figuras 37 e 38, que trazem o relacionamento entre o coeficiente de deformação superficial e a distância ao meridiano central (equação 4), mantendo-se a latitude constante ($17^{\circ} 20' 00''$ e $30^{\circ} 00' 00''$, respectivamente) e variando a distância ao meridiano central, verificam-se duas regiões distintas – uma de redução e outra de ampliação: a primeira está compreendida entre os meridianos de secância, onde ocorre redução nas áreas projetadas sobre o cilindro; já a segunda compreende os dois intervalos que vão dos meridianos de secância aos meridianos extremos, que apresentam ampliação nas áreas projetadas sobre o cilindro. A ordem de grandeza das deformações superficiais varia de 0,99920016 (no meridiano central) a 1,00195727 (nos meridianos extremos), para a Figura 37; no caso da Figura 38, essa variação é de 0,99920016 a 1,00195132. Assim, tem-se uma amplitude de variação de 0,00275711 e 0,00275116 para as Figuras 37 e 38, respectivamente.

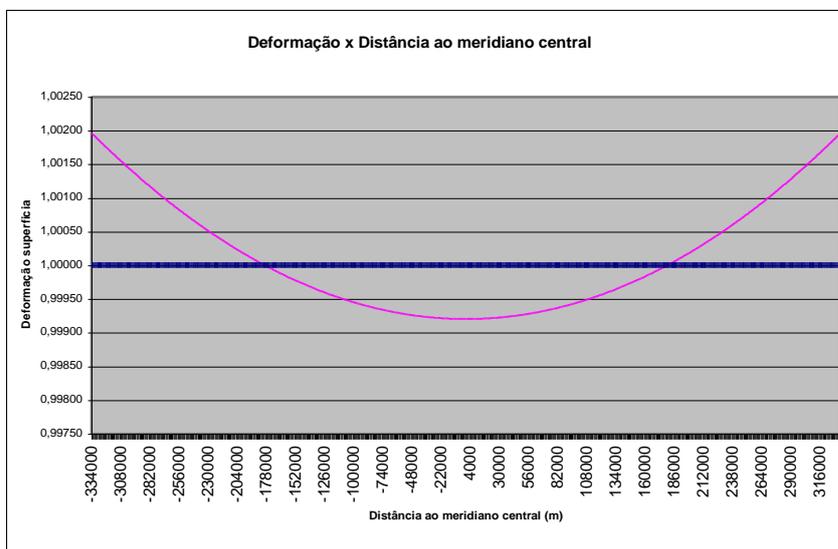


Figura 37 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a latitude constante ($17^{\circ} 20' 00''$) e variando a distância ao meridiano central.

Comentado [WDG18]: Arquivo DeformacaoSuperficialUTM.xls, pasta Gráf1Lat(-17,33)Y(1000em1000m).

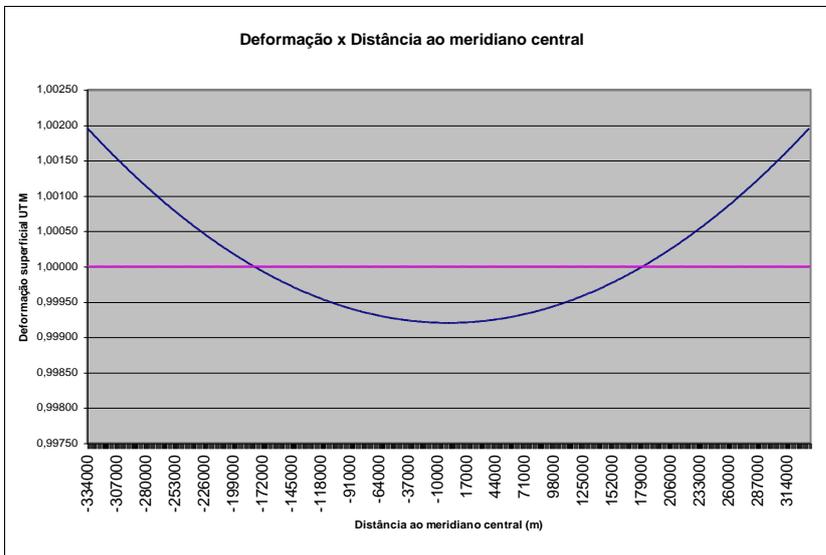


Figura 38 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a latitude constante (30° 00' 00") e variando a distância ao meridiano central.

Nas Figuras 39 e 40, também obtidas da equação 4, manteve-se a distância ao meridiano central constante (180.000 e 334.000 m, respectivamente) e variou-se a latitude. Observa-se que o crescimento da deformação é bem mais lento na direção norte-sul, quando comparado à direção leste-oeste (nas Figuras 37 e 38), havendo variação de apenas 0,00001037 e 0,00003575 nas Figuras 39 e 40, respectivamente.

As Figuras 37, 38, 39 e 40 indicam que os pontos onde ocorreria a ampliação máxima das áreas seriam na interseção do plano do equador com os meridianos extremos. Calculando-se o coeficiente de deformação superficial para esses pontos, seria obtido o valor de 1,00196022.

A redução máxima das áreas ocorre ao longo do meridiano central ($Y = 0$ m), sendo uma constante igual a 0,99920016.

Considerando a ordem de grandeza das deformações superficiais relativas ao sistema de projeção UTM, este poderia ser utilizado em detrimento de um sistema de projeção equivalente sem prejuízo às exigências pertinentes a mapeamentos para as atividades do setor florestal.

Comentado [WDG19]: Arquivo DeformacaoSuperficialUTM.xls, pasta Gráf2LAT(-30)Y'(1000em1000m).

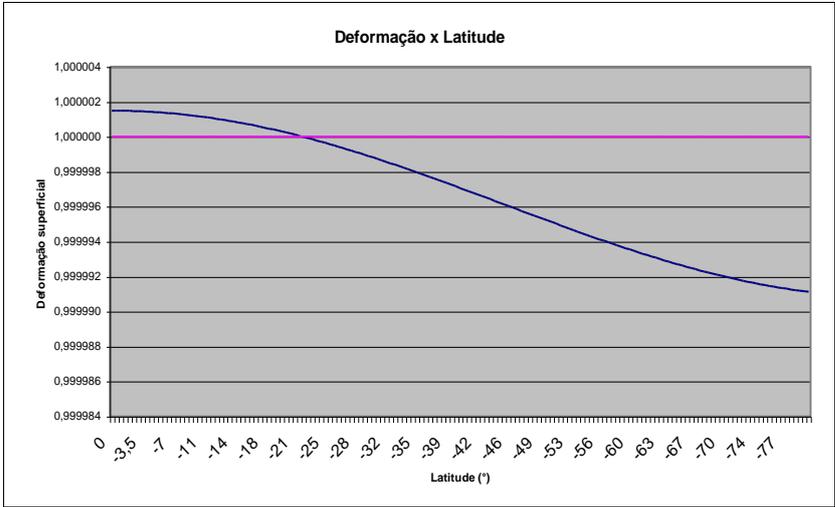


Figura 39 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a distância ao meridiano central constante (180.000 m) e variando a latitude.

Comentado [WDG20]: Arquivo DeformacaoSuperficialUTM.xls, pasta Gráf4Lat(0,5em0,5grau)Y'(180E3).

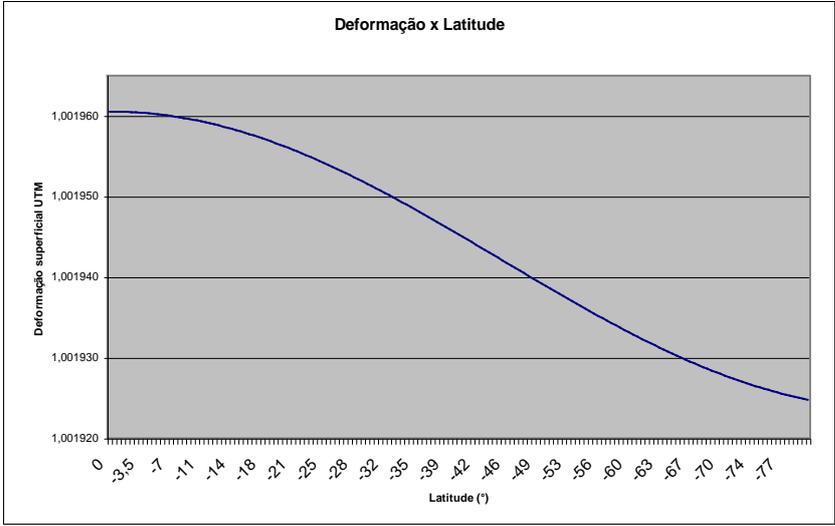


Figura 40 - Variação da deformação superficial (obtida da equação 4) mantendo-se a distância ao meridiano central constante (334.000 m) e variando a latitude.

Comentado [WDG21]: Arquivo DeformacaoSuperficialUTM.xls, pasta Gráf5Lat(0,5em0,5grau)Y'(334E3).

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi realizado em uma área de plantio de eucaliptais, destinado à produção de carvão vegetal e à fabricação de móveis, de propriedade da Acesita Energética Ltda. O estudo teve como objetivo principal o de avaliar a viabilidade técnica da adoção de imagens orbitais dos satélites Landsat 7 ETM+ e CBERS1, que possuem, respectivamente, 15 e 20 m de resolução espacial, para o mapeamento geodésico de talhões de eucalipto. Foram empregadas duas metodologias de digitalização – em mesa e em tela. A análise do comportamento do erro (diferença entre a área digitalizada em mesa ou em tela e a obtida via GPS) foi realizada a partir de estatísticas descritivas, do procedimento estatístico proposto por LEITE & OLIVEIRA (2002) e da espacialização dos dados, através do SIG. Como objetivo secundário, avaliou-se o comportamento do coeficiente de deformação superficial do sistema de projeção UTM.

Com base no processo de trabalho e nos resultados obtidos, chegou-se às conclusões que se seguem.

5.1 Conclusões sobre a digitalização

1. Na digitalização em mesa da imagem Landsat, 43,30% dos talhões apresentaram erros na faixa de 0 a 5% e 64,95% na faixa de 0 a 10% (valores dos erros em módulo).
2. Na digitalização em tela da imagem Landsat, 48,43% dos talhões apresentaram erros na faixa de 0 a 5% e 70,48% na faixa de 0 a 10% (valores dos erros em módulo).

3. Na digitalização em tela da imagem CBERS, 47,06% dos talhões apresentaram erros na faixa de 0 a 5% e 64,71% na faixa de 0 a 10% (valores dos erros em módulo).
4. Para todos os métodos, houve forte tendência de superestimação das áreas dos talhões.
5. Não se aconselha o mapeamento de divisas com esta metodologia, uma vez que elas requerem maior exatidão.
6. Levantamentos expeditos ou de reconhecimento podem ser realizados com qualquer uma das metodologias.
7. A escolha entre as imagens Landsat e CBERS1 deverá contemplar, considerando-se o objetivo de uso, outros aspectos, como custo e resolução radiométrica.
8. A digitalização em tela da imagem Landsat apresentou resultados superiores aos dos outros dois métodos.
9. Talhões de menores áreas apresentaram erros maiores para todos os métodos usados, e os erros seguem uma tendência de queda e estabilização à medida que os valores da variável área aumentam.
10. Áreas a partir de 30,2000 ha foram mais bem avaliadas nos três métodos.
11. Considerando-se as restrições mencionadas anteriormente e o propósito do mapeamento, uma boa alternativa seria a utilização conjunta do GPS e da imagem digital, sendo o primeiro para o levantamento de divisas e detalhes incompatíveis com a resolução espacial da imagem e, a segunda, para os demais talhões.
12. O erro foi sempre inferior a 6,1% para qualquer um dos métodos, seja considerando todos os talhões ou suas subdivisões em classes, quando se compararam os totais das áreas obtidas através da digitalização com os totais das áreas obtidas por GPS.

5.2 Conclusões sobre o coeficiente de deformação superficial do sistema de projeção UTM

1. Na região compreendida entre os meridianos de secância, o sistema UTM apresentou redução nas áreas projetadas sobre o cilindro.

2. Nas duas regiões compreendidas entre os meridianos de secância e os meridianos extremos, o sistema UTM apresentou ampliação nas áreas projetadas sobre o cilindro.
3. O crescimento da deformação superficial é mais lento na direção norte-sul do que na direção leste-oeste (a variável distância ao meridiano central tem maior influência do que a variável latitude na composição do coeficiente de deformação superficial).
4. A ordem de grandeza da deformação superficial para aplicações florestais não é significativa, em relação a um sistema equivalente.
5. O sistema UTM apresentou ampliação máxima das áreas na interseção do plano do equador com os meridianos extremos, sendo o seu valor de 1,00196022.
6. A redução máxima das áreas ocorreu ao longo do meridiano central, sendo uma constante igual a 0,99920016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. H., GUIMARÃES, R. F., CARVALHO JR., O. A., MENESES, P. R. Metodologia para Geração de Cartas de Navegabilidade Utilizando Dados de Sensoriamento Remoto, Sig's e Cad's - Estudo de Caso no Estabelecimento de Referências de Navegabilidade para a Hidrovia do Rio Tocantins. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. (CD-ROM).

BAKKER, M. P. R. **Cartografia - Noções Básicas**. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil, 1965. 242p.

CROUZET, M. **História Geral das Civilizações - O Oriente e a Grécia Antiga - As civilizações Imperiais**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A., 1993. 190p.

Comentado [WDG22]: 909 H673

DOLFUSS, O. **O espaço geográfico**. São Paulo: Difel, 1978. 235p.

DREYER-EIMBCKE, O. **O descobrimento da terra**. Tradução de Alfred Josef Keller. São Paulo: Melhoramentos: Editora da Universidade de São Paulo, 1992. 260p.

Comentado [WDG23]: 526.09 D778d

GARCIA, G. J. **Sensoriamento Remoto : princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982. 357p.

GARLIPP, R. C. D. O *boom* da certificação florestal: é preciso garantir a credibilidade. **Revista Silvicultura**, v. 17, n. 61, p. 17-22, 1995.

GOLFARI, L. **Zoneamento Ecológico do Estado de Minas Gerais para Reflorestamento**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisas do IBDF na Região de Cardoso, 1975. 65p. (Série técnica, 3).

GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. Tradução de Roberto M. C. Júnior e Luciano F. Costa. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1992. 509p.

GRIPP JR., J., SILVA, A. S. **Representações Cartográficas : Projeções Planas, Projeções Cônicas e Projeções Cilíndricas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 159p. (Notas de aula da disciplina CIV 422)

IDOETA, I. Mapear para administrar. **Revista InfoGeo**. Curitiba, PR, ano 4, n. 22, p. 80-81, jan./fev. 2002.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing : a remote sensing perspective**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hal, 1986. 379p.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical Procedure to Test the Identity of Analytical Methods. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, 33(7 & 8), p. 1105-1118. 2002.

LIBAULT, A. **Geocartografia**. São Paulo: Editora Nacional, editora da Universidade de São Paulo, 1975. 388p.

LILESSAND, T. M., KIEFER, R. W. **Remote Sensing and image interpretation**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994. 750p.

LUCCI, E. A. **O sistema Terra : geografia geral : 2º grau**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 223p.

MEDEIROS, A. M. P., RUDORFF, B. F. T., SHIMABUKURO, Y. E. Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, cana e soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. (CD-ROM).

Mobile Fornecedores. Ano XIV, edição 137, p. 54. 2001.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: editora UNESP, 2000. 288p.

MORAES NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto – Princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1992. 308 p.

OLIVEIRA, C. **Curso de cartografia moderna**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993, 152p.

REIS, M. G. F., REIS, G. G. A contribuição da pesquisa florestal para a redução de impactos ambientais dos reflorestamentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, I, Belo Horizonte, 1993. **Anais...**, Belo Horizonte: 1993, p. 119-35.

RIBEIRO, C. A. A. S.; VARELLA, C. A. A.; SENA Jr., D. G.; SOARES, V. P. **Sistemas de Informações Geográficas**. Agricultura de precisão. Editado por Aluísio Borém e outros. Viçosa, MG – Brasil 2000. 467p.: il. p-380-407.

RICHARDUS, P.; ADLLER, R. K. **Map projections - for geodesists, cartographers and geographers**. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1974. 174p.

SABADOTTO, R. CNIR – Antes tarde do que nunca. **Revista Infogeo**. Curitiba-PR, ano 3. n. 21, p. 74, nov./dez. 2001.

SANTOS, A. A. **Representações Cartográficas**. Recife: Ed. Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, 1985. 201p.

SARTORI NETO, A. Subsídios para elaboração do plano de manejo do Parque Nacional Grande Sertão Veredas por meio de um Sistema de Informações Geográficas. 2000. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SILVA, A. S. **Global Positioning System - GPS**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 1998. 124p. (Notas de aula da disciplina CIV 428).

SKIDMORE, A. K. An expert system classifies eucalipt forest types using thematic mapper data and a digital terrain model. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, vol. 55, n. 10, p. 1449-1464, out. 1989.

SOARES, V. P.; HOFFER. R. M. Detecção de mudanças em povoamentos de *Eucalyptus* spp e outros usos da terra através de imagens TM/LANDSAT-5 na região do vale do Rio Doce-MG. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p.117-127, 1996.

STAFFORD, J. V. **Essential Technology for Precision Agriculture**. In: ASA-CSSA-SSSAA, Precision Agriculture, Madison. Proceedings..., p.595-604. 1996.

TOMASSELLI, A. M. G. **Fotogrametria na Era da Geomática. Geoinformação : presente, passado e futuro**. 1. ed. Curitiba: Editora Espaço Geo Ltda. 2001. p-8-19.

VALVERDE, S. R. **A contribuição do setor florestal para o desenvolvimento sócio-econômico: uma aplicação de modelos de equilíbrio multissetoriais**. Viçosa: UFV, 2000, 105p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa , 2000.

VALVERDE, S. R. & SILVA, M. L. **Notas de aula de ENF 441 : Política e Legislação Florestal**.

VETTORAZI, C. A. & FERRAZ, S. F. B. **Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais**. Agricultura de precisão. Editado por Aluizio Borém e outros. Viçosa, MG – Brasil 2000. 467p.: il. p-65-75.

VOLPATO, E.; ROSETI, C. F. e MAFFIA, R. J. **A política florestal no Brasil**. In: Encontro brasileiro de economia e planejamento floresta, 2. EMPRAPA / CNPF, Curitiba, 1991. Anais..., Curitiba, 1992, v.2, p.97-119.

APÊNDICE

Digitalização em mesa da imagem LANDSAT-7

Quadro 1A - Áreas dos talhões da carta-imagem digitalizados em mesa

Tipo	ID	Mesa_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
1	1220	7.014	3.208	118,62
1	936	2.895	6.532	-55,68
1	1212	14.013	7.747	80,88
1	1108	15.391	9.866	56,01
1	1002	42.821	39.981	7,10
1	962	46.617	58.444	-20,24
1	1168	68.297	59.483	14,82
1	1184	79.195	70.038	13,07
1	942	52.334	71.389	-26,69
1	1070	102.164	91.750	11,35
1	849	106.263	94.274	12,72
1	1069	99.445	94.341	5,41
1	1084	107.429	95.035	13,04
1	1194	101.701	96.110	5,82
1	1085	107.603	96.940	11,00
1	1096	105.159	97.813	7,51
1	1183	116.464	97.823	19,06
1	1182	110.616	98.557	12,24
1	850	115.985	99.706	16,33
1	830	106.516	100.512	5,97
1	1193	111.921	101.113	10,69
1	1001	100.701	102.390	-1,65
1	831	110.346	103.796	6,31
1	1211	123.319	103.802	18,80
1	812	110.320	108.472	1,70
1	941	148.450	111.247	33,44
1	855	134.789	132.864	1,45
1	1111	153.572	137.983	11,30
1	973	127.198	150.063	-15,24
1	1006	167.455	150.378	11,36
1	947	186.888	187.033	-0,08
1	974	190.350	192.200	-0,96
1	1009	204.886	195.238	4,94
1	954	179.432	197.377	-9,09
1	844	201.586	199.010	1,29
1	820	202.409	226.059	-10,46
1	807	276.637	236.123	17,16
1	984	249.410	237.420	5,05
1	971	169.435	250.779	-32,44
1	848	273.200	257.696	6,02
1	1106	264.072	258.648	2,10
1	935	306.350	278.381	10,05
1	803	312.480	287.491	8,69
1	1010	313.808	296.098	5,98
1	1188	312.237	311.532	0,23
1	1109	357.647	319.459	11,95
1	1076	354.406	344.434	2,90

Tipo	ID	Mesa_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
1	836	370.809	351.475	5,50
1	1099	376.152	364.670	3,15
1	979	351.497	370.625	-5,16
1	963	355.843	377.371	-5,70
1	1005	401.426	378.791	5,98
1	835	390.373	387.014	0,87
1	1190	397.152	389.781	1,89
1	1191	405.991	392.382	3,47
1	845	382.840	392.724	-2,52
1	993	400.220	394.948	1,33
1	1080	410.044	394.993	3,81
1	1081	389.795	395.140	-1,35
1	846	395.317	396.403	-0,27
1	858	414.181	396.776	4,39
1	1074	413.941	397.059	4,25
1	834	406.875	398.351	2,14
1	1092	398.832	398.502	0,08
1	1179	397.186	398.925	-0,44
1	857	410.066	401.094	2,24
1	1079	399.552	401.417	-0,46
1	859	392.400	402.304	-2,46
1	940	393.083	413.571	-4,95
1	815	410.940	419.045	-1,93
1	972	462.530	438.572	5,46
1	955	484.729	481.427	0,69
1	1073	508.174	490.337	3,64
1	1177	504.804	490.946	2,82
1	853	512.690	493.447	3,90
1	909	528.055	493.614	6,98
1	840	509.903	495.222	2,96
1	1176	502.559	495.926	1,34
1	997	522.212	496.318	5,22
1	1173	501.646	496.506	1,04
1	1186	505.402	496.617	1,77
1	838	529.009	497.830	6,26
1	1174	519.386	498.298	4,23
1	1102	525.277	498.354	5,40
1	1089	512.044	498.684	2,68
1	852	515.532	498.849	3,34
1	908	517.543	499.196	3,68
1	987	500.080	499.998	0,02
1	910	493.322	500.377	-1,41
1	1011	509.602	501.028	1,71
1	917	511.921	501.403	2,10
1	839	536.704	501.781	6,96
1	824	501.660	502.298	-0,13
1	1172	501.683	502.459	-0,15
1	854	515.655	502.904	2,54
1	841	521.185	503.849	3,44
1	1187	519.747	503.970	3,13
1	1205	511.567	504.671	1,37
1	804	497.591	510.129	-2,46
1	819	511.195	511.001	0,04

Tipo	ID	Mesa_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
1	823	547.449	521.443	4,99
1	808	521.226	536.011	-2,76
1	932	506.266	543.248	-6,81
2	1208	3.623	5.181	-30,08
2	1314	11.252	6.701	67,91
2	1223	13.813	9.704	42,34
2	799	14.667	10.354	41,66
2	1248	18.370	11.635	57,89
2	801	21.511	13.736	56,61
2	1167	19.146	15.058	27,15
2	1215	28.317	17.294	63,74
2	1086	20.181	18.900	6,78
2	1252	25.104	20.210	24,21
2	811	25.531	27.339	-6,61
2	806	33.183	28.025	18,41
2	826	36.961	31.544	17,17
2	1095	39.661	35.370	12,13
2	837	35.003	45.258	-22,66
2	1226	50.788	56.918	-10,77
2	1204	65.559	57.777	13,47
2	1237	103.774	59.374	74,78
2	930	59.900	62.810	-4,63
2	1115	107.261	63.138	69,88
2	825	96.693	66.444	45,53
2	1196	81.229	70.916	14,54
2	813	82.719	72.786	13,65
2	1097	87.065	73.968	17,71
2	1214	84.110	74.273	13,24
2	1082	85.159	78.140	8,98
2	833	80.010	79.440	0,72
2	920	78.268	84.299	-7,15
2	1247	106.317	86.057	23,54
2	900	90.862	86.657	4,85
2	938	85.408	87.660	-2,57
2	1222	107.266	93.505	14,72
2	951	127.048	94.308	34,72
2	1083	105.414	94.823	11,17
2	1003	98.590	96.156	2,53
2	1245	119.188	96.487	23,53
2	1068	101.520	98.964	2,58
2	989	106.033	99.675	6,38
2	990	103.333	99.823	3,52
2	1078	119.430	100.211	19,18
2	1071	113.716	104.882	8,42
2	1000	98.399	106.418	-7,54
2	1171	143.666	113.546	26,53
2	1227	130.886	116.023	12,81
2	1207	142.381	124.038	14,79
2	816	137.216	127.546	7,58
2	967	186.797	127.625	46,36
2	1200	153.699	128.935	19,21
2	912	149.880	131.158	14,27
2	1228	174.936	135.424	29,18

Tipo	ID	Mesa_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
2	1225	144.761	136.157	6,32
2	1219	154.422	136.642	13,01
2	1218	136.694	137.140	-0,33
2	1110	155.578	141.284	10,12
2	1198	158.918	147.100	8,03
2	1246	169.381	148.641	13,95
2	985	165.479	149.228	10,89
2	1195	169.077	154.991	9,09
2	814	199.915	156.395	27,83
2	1091	174.003	157.524	10,46
2	991	185.713	159.952	16,11
2	999	180.648	160.829	12,32
2	818	201.003	162.380	23,79
2	1169	194.171	176.649	9,92
2	1239	185.717	177.453	4,66
2	1180	183.311	187.384	-2,17
2	939	191.630	187.406	2,25
2	1242	253.668	192.119	32,04
2	998	208.980	195.183	7,07
2	1256	206.576	196.977	4,87
2	1090	208.725	197.639	5,61
2	995	200.361	201.273	-0,45
2	1206	249.856	202.020	23,68
2	1104	225.347	206.945	8,89
2	1259	231.958	210.936	9,97
2	1087	221.969	213.534	3,95
2	1093	219.225	214.421	2,24
2	927	237.665	216.045	10,01
2	906	214.143	217.746	-1,65
2	1077	242.859	221.446	9,67
2	988	252.232	224.671	12,27
2	1201	241.232	225.460	7,00
2	1012	245.940	230.884	6,52
2	1217	293.504	231.154	26,97
2	1065	243.788	237.619	2,60
2	802	290.054	239.019	21,35
2	933	307.910	249.879	23,22
2	1243	261.505	250.698	4,31
2	983	265.166	251.156	5,58
2	1238	276.520	256.029	8,00
2	914	232.984	258.412	-9,84
2	1210	258.736	260.672	-0,74
2	1236	257.479	260.997	-1,35
2	986	296.232	269.275	10,01
2	1234	248.833	270.266	-7,93
2	829	308.164	271.714	13,42
2	1175	222.242	272.508	-18,45
2	1221	308.363	291.469	5,80
2	805	317.570	297.310	6,81
2	1231	317.580	299.524	6,03
2	982	305.989	306.070	-0,03
2	1064	306.178	306.098	0,03
2	945	332.439	307.542	8,10

Tipo	ID	Mesa_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
2	904	308.087	308.455	-0,12
2	905	339.647	312.952	8,53
2	944	360.383	314.272	14,67
2	1004	341.152	314.282	8,55
2	1197	327.116	318.993	2,55
2	1244	360.222	320.721	12,32
2	1213	361.313	326.346	10,71
2	1224	370.457	330.682	12,03
2	1075	334.665	333.392	0,38
2	860	325.157	333.418	-2,48
2	1258	342.720	341.044	0,49
2	1008	361.717	343.327	5,36
2	903	358.961	348.529	2,99
2	1327	377.543	371.508	1,62
2	1072	408.832	371.638	10,01
2	934	290.472	375.173	-22,58
2	1216	379.539	377.785	0,46
2	965	429.812	386.174	11,30
2	994	417.251	387.556	7,66
2	856	396.785	390.378	1,64
2	931	461.660	390.867	18,11
2	992	395.076	392.112	0,76
2	1178	396.149	394.882	0,32
2	851	392.291	402.645	-2,57
2	862	515.918	426.640	20,93
2	915	461.478	432.567	6,68
2	800	441.467	434.003	1,72
2	1199	452.600	440.310	2,79
2	1098	445.085	442.990	0,47
2	1107	488.756	472.684	3,40
2	946	465.209	474.829	-2,03
2	943	462.981	476.893	-2,92
2	901	501.375	480.741	4,29
2	902	490.742	481.354	1,95
2	937	481.024	481.943	-0,19
2	1088	500.408	483.398	3,52
2	822	506.577	487.000	4,02
2	1249	511.521	489.994	4,39
2	809	510.944	494.564	3,31
2	916	501.762	495.855	1,19
2	964	506.657	496.375	2,07
2	996	520.530	498.428	4,43
2	1101	514.899	499.111	3,16
2	907	493.689	500.469	-1,35
2	1255	513.656	506.774	1,36
2	975	509.776	507.007	0,55
2	1007	535.355	515.725	3,81
2	1257	573.674	529.836	8,27

Tipos 1 e 2 correspondem à classificação dos talhões em internos e de borda, respectivamente, conforme Quadro 4.

Digitalização em tela da imagem LANDSAT-7

Quadro 2A - Áreas dos talhões da imagem Landsat digitalizados em tela

Tipo	ID	Tela_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
1	1220	6.238	3.208	94,43
1	936	2.861	6.532	-56,19
1	1212	14.545	7.747	87,75
1	1108	19.795	9.866	100,65
1	1002	46.646	39.981	16,67
1	962	41.823	58.444	-28,44
1	1168	52.459	59.483	-11,81
1	1184	78.529	70.038	12,12
1	942	67.198	71.389	-5,87
1	1070	101.851	91.750	11,01
1	849	98.074	94.274	4,03
1	1069	105.152	94.341	11,46
1	1084	105.360	95.035	10,86
1	1194	99.839	96.110	3,88
1	1085	102.017	96.940	5,24
1	1096	105.213	97.813	7,57
1	1183	103.936	97.823	6,25
1	1182	104.191	98.557	5,72
1	850	102.566	99.706	2,87
1	830	108.674	100.512	8,12
1	1193	106.549	101.113	5,38
1	1001	104.131	102.390	1,70
1	831	106.358	103.796	2,47
1	1211	105.282	103.802	1,43
1	812	94.586	108.472	-12,80
1	941	136.911	111.247	23,07
1	855	133.598	132.864	0,55
1	1111	144.641	137.983	4,83
1	973	121.253	150.063	-19,20
1	1006	164.767	150.378	9,57
1	947	196.357	187.033	4,98
1	974	192.825	192.200	0,33
1	1009	205.023	195.238	5,01
1	954	173.555	197.377	-12,07
1	844	199.988	199.010	0,49
1	820	190.084	226.059	-15,91
1	807	274.810	236.123	16,38
1	984	246.944	237.420	4,01
1	971	198.531	250.779	-20,83
1	848	278.479	257.696	8,06
1	1106	262.275	258.648	1,40
1	935	311.611	278.381	11,94
1	803	292.418	287.491	1,71
1	1010	309.184	296.098	4,42
1	1188	328.728	311.532	5,52
1	1109	366.131	319.459	14,61
1	1076	358.406	344.434	4,06

Tipo	ID	Tela_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
1	836	364.106	351.475	3,59
1	1099	364.281	364.670	-0,11
1	979	361.808	370.625	-2,38
1	963	356.917	377.371	-5,42
1	1005	395.395	378.791	4,38
1	835	399.658	387.014	3,27
1	1190	408.500	389.781	4,80
1	1191	404.963	392.382	3,21
1	845	408.976	392.724	4,14
1	993	404.006	394.948	2,29
1	1080	417.487	394.993	5,69
1	1081	425.353	395.140	7,65
1	846	409.402	396.403	3,28
1	858	411.447	396.776	3,70
1	1074	400.069	397.059	0,76
1	834	399.019	398.351	0,17
1	1092	404.729	398.502	1,56
1	1179	407.501	398.925	2,15
1	857	408.161	401.094	1,76
1	1079	410.336	401.417	2,22
1	859	415.637	402.304	3,31
1	940	379.445	413.571	-8,25
1	815	417.186	419.045	-0,44
1	972	460.904	438.572	5,09
1	955	480.980	481.427	-0,09
1	1073	510.548	490.337	4,12
1	1177	503.873	490.946	2,63
1	853	518.261	493.447	5,03
1	909	525.462	493.614	6,45
1	840	503.692	495.222	1,71
1	1176	481.543	495.926	-2,90
1	997	506.759	496.318	2,10
1	1173	521.915	496.506	5,12
1	1186	500.302	496.617	0,74
1	838	513.052	497.830	3,06
1	1174	534.548	498.298	7,27
1	1102	519.938	498.354	4,33
1	1089	504.855	498.684	1,24
1	852	511.088	498.849	2,45
1	908	509.605	499.196	2,09
1	987	506.941	499.998	1,39
1	910	511.281	500.377	2,18
1	1011	513.008	501.028	2,39
1	917	500.195	501.403	-0,24
1	839	515.496	501.781	2,73
1	824	516.606	502.298	2,85
1	1172	484.843	502.459	-3,51
1	854	514.048	502.904	2,22
1	841	512.939	503.849	1,80
1	1187	502.004	503.970	-0,39
1	1205	503.511	504.671	-0,23
1	804	521.408	510.129	2,21
1	819	515.605	511.001	0,90

Tipo	ID	Tela_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
1	823	535.846	521.443	2,76
1	808	521.215	536.011	-2,76
1	932	524.551	543.248	-3,44
2	1208	12.712	5.181	145,34
2	1314	9.698	6.701	44,72
2	1223	16.599	9.704	71,05
2	799	15.543	10.354	50,12
2	1248	8.693	11.635	-25,29
2	801	17.015	13.736	23,87
2	1167	22.734	15.058	50,98
2	1215	24.885	17.294	43,90
2	1086	15.787	18.900	-16,47
2	1252	27.310	20.210	35,13
2	811	26.539	27.339	-2,93
2	806	26.701	28.025	-4,72
2	826	37.408	31.544	18,59
2	1095	44.523	35.370	25,88
2	837	34.505	45.258	-23,76
2	1226	46.212	56.918	-18,81
2	1204	86.354	57.777	49,46
2	1237	72.977	59.374	22,91
2	930	58.936	62.810	-6,17
2	1115	112.374	63.138	77,98
2	825	79.001	66.444	18,90
2	1196	78.230	70.916	10,31
2	813	75.660	72.786	3,95
2	1097	81.673	73.968	10,42
2	1214	75.110	74.273	1,13
2	1082	97.629	78.140	24,94
2	833	70.871	79.440	-10,79
2	920	94.683	84.299	12,32
2	1247	102.904	86.057	19,58
2	900	97.565	86.657	12,59
2	938	79.582	87.660	-9,22
2	1222	97.800	93.505	4,59
2	951	106.053	94.308	12,45
2	1083	105.451	94.823	11,21
2	1003	103.029	96.156	7,15
2	1245	110.459	96.487	14,48
2	1068	106.910	98.964	8,03
2	989	108.337	99.675	8,69
2	990	99.350	99.823	-0,47
2	1078	109.473	100.211	9,24
2	1071	119.487	104.882	13,93
2	1000	105.753	106.418	-0,62
2	1171	181.972	113.546	60,26
2	1227	128.649	116.023	10,88
2	1207	133.315	124.038	7,48
2	816	132.372	127.546	3,78
2	967	179.475	127.625	40,63
2	1200	187.076	128.935	45,09
2	912	126.940	131.158	-3,22
2	1228	170.079	135.424	25,59

Tipo	ID	Tela_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
2	1225	150.837	136.157	10,78
2	1219	173.858	136.642	27,24
2	1218	135.895	137.140	-0,91
2	1110	134.116	141.284	-5,07
2	1198	161.543	147.100	9,82
2	1246	179.460	148.641	20,73
2	985	140.958	149.228	-5,54
2	1195	154.365	154.991	-0,40
2	814	195.396	156.395	24,94
2	1091	175.801	157.524	11,60
2	991	174.821	159.952	9,30
2	999	172.663	160.829	7,36
2	818	188.931	162.380	16,35
2	1169	212.888	176.649	20,52
2	1239	156.089	177.453	-12,04
2	1180	197.645	187.384	5,48
2	939	166.680	187.406	-11,06
2	1242	217.089	192.119	13,00
2	998	207.539	195.183	6,33
2	1256	204.106	196.977	3,62
2	1090	196.003	197.639	-0,83
2	995	201.174	201.273	-0,05
2	1206	230.105	202.020	13,90
2	1104	213.275	206.945	3,06
2	1259	197.997	210.936	-6,13
2	1087	219.783	213.534	2,93
2	1093	228.982	214.421	6,79
2	927	231.133	216.045	6,98
2	906	227.299	217.746	4,39
2	1077	210.075	221.446	-5,14
2	988	232.754	224.671	3,60
2	1201	242.121	225.460	7,39
2	1012	239.879	230.884	3,90
2	1217	264.902	231.154	14,60
2	1065	249.769	237.619	5,11
2	802	271.366	239.019	13,53
2	933	274.771	249.879	9,96
2	1243	306.982	250.698	22,45
2	983	275.997	251.156	9,89
2	1238	302.745	256.029	18,25
2	914	253.950	258.412	-1,73
2	1210	261.850	260.672	0,45
2	1236	261.742	260.997	0,29
2	986	294.226	269.275	9,27
2	1234	271.017	270.266	0,28
2	829	307.423	271.714	13,14
2	1175	255.426	272.508	-6,27
2	1221	299.043	291.469	2,60
2	805	318.836	297.310	7,24
2	1231	311.101	299.524	3,87
2	982	310.643	306.070	1,49
2	1064	308.877	306.098	0,91
2	945	303.446	307.542	-1,33

Tipo	ID	Tela_Landsat (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
2	904	315.123	308.455	2,16
2	905	328.987	312.952	5,12
2	944	346.290	314.272	10,19
2	1004	317.389	314.282	0,99
2	1197	304.973	318.993	-4,39
2	1244	367.415	320.721	14,56
2	1213	350.475	326.346	7,39
2	1224	360.837	330.682	9,12
2	1075	316.332	333.392	-5,12
2	860	331.554	333.418	-0,56
2	1258	367.765	341.044	7,84
2	1008	344.990	343.327	0,48
2	903	344.369	348.529	-1,19
2	1327	391.067	371.508	5,26
2	1072	405.170	371.638	9,02
2	934	267.207	375.173	-28,78
2	1216	378.699	377.785	0,24
2	965	407.162	386.174	5,43
2	994	396.577	387.556	2,33
2	856	389.686	390.378	-0,18
2	931	447.654	390.867	14,53
2	992	398.528	392.112	1,64
2	1178	394.096	394.882	-0,20
2	851	403.441	402.645	0,20
2	862	484.933	426.640	13,66
2	915	450.469	432.567	4,14
2	800	450.381	434.003	3,77
2	1199	432.748	440.310	-1,72
2	1098	458.568	442.990	3,52
2	1107	488.262	472.684	3,30
2	946	479.589	474.829	1,00
2	943	474.792	476.893	-0,44
2	901	486.964	480.741	1,29
2	902	487.348	481.354	1,25
2	937	476.719	481.943	-1,08
2	1088	498.483	483.398	3,12
2	822	516.153	487.000	5,99
2	1249	501.558	489.994	2,36
2	809	524.684	494.564	6,09
2	916	515.056	495.855	3,87
2	964	505.200	496.375	1,78
2	996	525.887	498.428	5,51
2	1101	518.457	499.111	3,88
2	907	515.926	500.469	3,09
2	1255	492.706	506.774	-2,78
2	975	510.650	507.007	0,72
2	1007	517.027	515.725	0,25
2	1257	531.184	529.836	0,25

Tipos 1 e 2 correspondem à classificação dos talhões em internos e de borda, respectivamente, conforme Quadro 4.

Digitalização em tela da imagem CBERS-1

Quadro 3A - Áreas dos talhões da imagem cbers-1 digitalizados em tela

Tipo	ID	Tela_CBERS-1 (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
1	936	2.720	6.532	-58,36
1	1084	103.319	95.035	8,72
1	1194	104.138	96.110	8,35
1	1085	98.452	96.940	1,56
1	850	101.842	99.706	2,14
1	1193	105.213	101.113	4,05
1	812	106.473	108.472	-1,84
1	1111	152.355	137.983	10,42
1	973	119.499	150.063	-20,37
1	954	168.300	197.377	-14,73
1	820	201.542	226.059	-10,85
1	807	276.898	236.123	17,27
1	984	263.923	237.420	11,16
1	935	313.344	278.381	12,56
1	803	293.385	287.491	2,05
1	1076	396.073	344.434	14,99
1	1099	388.937	364.670	6,65
1	1190	402.575	389.781	3,28
1	845	404.141	392.724	2,91
1	993	407.023	394.948	3,06
1	1081	413.310	395.140	4,60
1	834	408.509	398.351	2,55
1	853	501.194	493.447	1,57
1	1176	527.548	495.926	6,38
1	1173	491.680	496.506	-0,97
1	838	506.060	497.830	1,65
1	839	514.160	501.781	2,47
2	1314	15.062	6.701	124,76
2	1167	19.071	15.058	26,65
2	1086	18.800	18.900	-0,53
2	806	27.422	28.025	-2,15
2	990	112.061	99.823	12,26
2	1078	119.912	100.211	19,66
2	912	142.336	131.158	8,52
2	1110	145.979	141.284	3,32
2	1246	182.492	148.641	22,77
2	1195	156.652	154.991	1,07
2	818	196.792	162.380	21,19
2	1242	235.612	192.119	22,64
2	1206	237.874	202.020	17,75
2	1236	273.663	260.997	4,85
2	945	311.818	307.542	1,39
2	1075	310.036	333.392	-7,01
2	860	339.147	333.418	1,72
2	1327	408.982	371.508	10,09
2	1098	460.554	442.990	3,96
2	902	513.632	481.354	6,71

Tipo	ID	Tela_CBERS-1 (m2)	Referência (m2)	Erro Relativo(%)
2	1101	525.192	499.111	5,23
2	907	497.923	500.469	-0,51
2	1255	511.198	506.774	0,87
2	1007	554.232	515.725	7,47

Tipos 1 e 2 correspondem à classificação dos talhões em internos e de borda, respectivamente, conforme Quadro 4.