

DETECÇÃO DE MUDANÇAS NO USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE SERTÃOZINHO (SP) POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO, 1981 – 2001

Land Use Changes Detection Using Geoprocessing In The Municipal District Of Sertãozinho (SP), 1981 and 2001

**Marcia Aparecida Procópio da Silva Scheer
Jansle Vieira Rocha**

**Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI
Grupo de Estudos em Geoprocessamento
Caixa Postal: 6011. CEP: 13083-970. Campinas -SP
maproc@gmail.com
jansle@agr.unicamp.br**

RESUMO

Esta pesquisa teve como foco de estudo detectar as transformações ocorridas no uso da terra no município de Sertãozinho entre 1981 e 2001. Destacaram-se, especialmente, as transformações nos cultivos agrícolas, pois este município está localizado numa região considerada, atualmente, uma das principais produtoras de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Este estudo foi realizado com o uso de ferramentas de Geoprocessamento e imagens de satélite LANDSAT 2-MSS de 1981, LANDSAT 5-TM de 1990 e LANDSAT 7-ETM+ de 2001. A partir das matrizes de erro entre os mapas de uso da terra de Sertãozinho (1981, 1990 e 2001) foram calculados: Exatidão Total, do Produtor e do Usuário; e o Coeficiente KAPPA. Tal estudo fez com que fossem localizados onde ocorreram as mudanças, o que possibilitou inferir sobre as causas que levaram a tal transformação. Os resultados gerados retrataram o comportamento do município perante as tendências econômicas e políticas dos últimos 20 anos no país.

Palavras chaves: Mudança do Uso da Terra, Imagens de Satélite LANDSAT, Geoprocessamento, Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT

This research had as a focus of study to detect the land use changes in the municipal district of Sertãozinho (SP) between 1981 and 2001. It was emphasized, mainly, the changes occurred in agricultural cultivation, for the region is located in an area considered, currently, one of the main sugarcane producers in the state of São Paulo. This study was accomplished with the use of tools of Geoprocessing and satellite images LANDSAT 2- MSS (1981), LANDSAT 5-TM (1990) and LANDSAT 7- TM (2001). Starting from the mistake head offices among Sertãozinho's land use changes maps (1981, 1990 and 2001) they were made calculations: Total accuracy, of the Producer and the User; and the KAPPA index. The study of land changes using Geoprocessing gave a geographical location of these changes possibiliting to analyse causes that had led to such transformation. The produced results represent the procedure in face of economic and political tendencies in the last 20 years in the country.

Keywords: Land Use Change, Satellite Image LANDSAT, Geoprocessing, System of Geographical Information.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 50, quando o Brasil iniciou seu processo de modernização da agricultura, ocorreram constantes transformações na composição do uso da

terra agrícola, consequência das tendências do mercado econômico e da política no país.

Das transformações ocorridas no Estado de São Paulo destaca-se a substituição dos cultivos de algodão, arroz, feijão, trigo, milho, amendoim, café e áreas com pastagem natural por produtos com menor

risco de perda e/ou mais rentáveis economicamente, como: laranja, soja, cana-de-açúcar para fins industriais e áreas com pastagens cultivadas.

A utilização de Sensoriamento Remoto e de Sistema de Informação Geográfica (SIG) no estudo das transformações do uso da terra são muito apropriados, principalmente na elaboração de uma base georreferenciada que promove a representação e a análise do espaço geográfico de forma dinâmica, além da sua necessária integração com as variáveis consideradas na pesquisa.

Também, as operações entre mapas geram resultados que possibilitam acompanhar temporalmente as transformações ocorridas na área de estudo e facilitam a visualização dos resultados.

De modo geral, esta pesquisa teve objetivo de detectar por meio de ferramentas de Geoprocessamento quais os principais elementos que contribuíram, direta ou indiretamente, com as transformações do uso da terra em Sertãozinho no período de 1979 a 2001.

Especificamente, deu-se ênfase ao estudo do cultivo da cana-de-açúcar, pois o município de Sertãozinho está localizado na porção noroeste da bacia hidrográfica do Rio Mogi – Guaçu (SP), onde, hoje em dia, se concentra grande parte desse tipo de produção, resultado das tendências econômicas e políticas ocorridas nos últimos 20 anos no país.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As mudanças no uso da terra são resultados de alterações na composição estrutural de uma área, agrícola ou não, influenciada por fatores externos as suas características físicas, como por exemplo, o interesse econômico num determinado produto agrícola por causa de seu preço de mercado ou obedecendo a costumes e a tradição da população local, entre outros.

Atualmente, o monitoramento de cultivos agrícolas e do solo vem se difundindo mundialmente com a utilização de técnicas de Geoprocessamento. Dentre as vantagens de se utilizar tais ferramentas pode-se destacar o auxílio na tomada de decisão, favorecendo a utilização mais racional dos recursos naturais e proporcionando maior rendimento para o produtor. (SCHEER, 2004).

Neste tipo de estudo é comum trabalhar com um grande número de variáveis, tanto espaciais quanto numéricas, que ao serem trabalhadas manualmente podem ser extraviadas ou mal utilizadas, comprometendo o resultado final do estudo. Por este, entre outros motivos, ressalta-se a importância da utilização do sistema de banco de dados em estudos envolvendo planejamento rural, urbano e ambiental. (CÂMARA et al., 1996).

Quanto à aplicação de produtos de Sensoriamento Remoto na detecção da cobertura vegetal e das mudanças no uso da terra, anos atrás era comum detectar mudanças em áreas rurais ou urbanas com fotografias aéreas, que Lo (1986) considera um método

muito eficiente na exibição da tendência do desenvolvimento de uma região. Este processo é feito através da comparação de mapas de uso da terra realizados a partir de uma seqüência de fotografias aéreas de uma mesma região provenientes de datas diferentes.

Para Crosta (1992), neste momento em que a humanidade começa a encarar seriamente a necessidade de monitorar as mudanças globais que vêm ocorrendo na superfície do planeta, o sensoriamento remoto aparece como uma das ferramentas do futuro. Todo esse avanço ficaria sem apoio se não ocorresse, simultaneamente, o desenvolvimento das técnicas de processamento das informações contidas (por exemplo: filtragem, cor, classificação multiespectral, correção geométrica, entre outras) nas imagens de sensoriamento remoto.

Atualmente, é comum utilizar imagens orbitais de datas distintas na detecção de mudanças ocorridas no uso da terra numa determinada área. Conforme Santos (1999), uma maneira de estudar as mudanças consiste em classificar cada uma das imagens separadamente e, depois, comparar os resultados distinguindo quais os pixels que sofreram alterações. O autor destaca que um dos objetivos principais da utilização do Sensoriamento Remoto aplicado ao mapeamento de uso da terra está em definir um sistema de classificação, inserindo os dados em um quadro de referência para organização e hierarquização da informação.

De modo geral, os resultados obtidos por meio de ferramentas de Geoprocessamento em estudos dos mais variados temas e lugares no mundo vêm se mostrando cada vez mais completos e com maior exatidão, sendo interessante citar aqui alguns exemplos:

Vescovi e Gomasca (1999) utilizaram técnicas de Sensoriamento Remoto para classificar o uso da terra em uma área ao norte da Itália. Nesta pesquisa foram integrados imagens LANDSAT – TM adquiridas em abril de 1994 e dados provenientes do radar SIR-C/X-SAR. Estes dados foram combinados através do cálculo dos principais elementos do conjunto de dados multidimensionais e, a partir daí, foi realizada uma classificação final para ser comparada com as imagens obtidas pelo satélite e radar, separadamente. O resultado mostrou extraordinária melhora na precisão da localização dos diversos tipos de colheita na classificação do uso da terra para a área de estudo.

Su (2000) estudou métodos para traçar mudanças no uso da terra e parâmetros de vegetação na bacia do rio Sauer, Bélgica, utilizando dados de Sensoriamento Remoto no contexto de estudos hidrológicos. Esta pesquisa foi desenvolvida em duas partes, que resultaram no monitoramento da área, cujo objetivo era melhorar o uso da terra e a conservação dos recursos hídricos.

Franklin et al. (2002) realizaram pesquisa sobre a detecção de mudanças em áreas florestais no sudeste de New Brunswick, Canadá, utilizando SIG. As imagens de satélite utilizadas foram dos anos de 1984, 1985, 1986, 1988, 1992, 1997 e 1999. Como resultados,

os autores chegaram a uma mudança média anual de aproximadamente 3068ha por ano, sendo que a mudança máxima anual ocorreu entre 1985-1986 com valor maior que 7000ha ano. A estimativa da mudança total, entre os anos de 1984 – 1999 foram por volta de 50000ha, que corresponde a 12% da área total estudada.

Silapaswan et al. (2001), observaram por meio de Sensoriamento Remoto as mudanças no uso da terra na península de Seward, Alaska, entre os anos de 1986 e 1999. Os autores também consideraram a influência do clima na dinâmica histórica da vegetação no local. Foram utilizadas cinco imagens da série satélite LANDSAT, sendo a de 1986 com sensor MSS e as demais TM. Com os resultados foi possível verificar as mudanças de tundra para floresta pelo menos há aproximadamente 150 anos. Porém, os autores ressaltaram que é mais difícil monitorar escalas de tempo mais curtas auxiliado por imagens de satélite, principalmente, pela periodicidade de obtenção de cenas.

No Brasil, os resultados obtidos com produtos de Sensoriamento Remoto e do emprego do SIG têm se mostrado eficientes nos mais variados tipos de análises, dentre eles, no levantamento, manejo e conservação dos solos, uso da terra e estudo de microbacias hidrográficas. (OLIVEIRA, 2001).

Assad et al. (1998) estudaram a estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica de Taquara (DF) por meio de SIG. Dentre as etapas da pesquisa foram feitas as caracterizações fisiográficas, sócio-econômicas e o levantamento dos problemas pertinentes à comunidade local e as práticas de manejo utilizadas até então. Quanto aos materiais, destacam-se o uso de fotografias aéreas pancromáticas de 1954, escala 1:25.000, e imagem de satélite LANDSAT – TM órbita/ ponto: 221/071 de agosto de 1988.

Dentre os resultados, os autores relataram que 75% da microbacia já foram completamente devastadas e ocupadas por lavouras e pastagens, o que pode ameaçar a manutenção dos recursos naturais. (ASSAD et al., 1998, p. 125).

Os autores com a realização desta pesquisa confirmaram o grande potencial que o SIG tem na integração de dados geocodificados, sendo possível com esta ferramenta tomar decisões rápidas e precisas comparadas a outros estudos realizados sem sua utilização.

Ulbricht e Heckendorff (1998) estudaram as mudanças no uso da terra na zona costeira do litoral de João Pessoa, Paraíba, utilizando imagens do satélite LANDSAT 2 e 5–TM dos anos de 1985, 1986 e 1996 e SPOT –XS de 1996. Entre os resultados obtidos, os autores evidenciaram a mudança no formato do leito do rio Paraíba na proximidade de sua foz no estuário, dentre as mudanças pode-se verificar que alguns canais secaram, além da presença de plantações de cana-de-açúcar em planícies de inundação, etc.

Recentemente, várias pesquisas foram publicadas sobre a matriz de erro, cálculo da exatidão

total e sobre o coeficiente KAPPA, podendo-se citar: Wickham et al. (2004) e Foody (2002).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A Comarca de Sertãozinho (Fig.1), localizada a 335Km de São Paulo, foi criada pela Lei nº1018 de 26 de outubro de 1906. Embora antes desta data já apresentasse esparsas plantações de cana-de-açúcar, a principal atividade econômica do município era a cafeicultura, cenário que perdurou até a década de 40.

A partir da segunda metade da década de 40, o cultivo de cana-de-açúcar teve extraordinária expansão, porém interrompida inúmeras vezes por crises econômicas e políticas que afetaram o país e a região. Tais situações fizeram com que o município diversificasse sua produção em alguns momentos com soja, café e laranja.

Atualmente, o município de Sertãozinho é considerado um dos principais produtores de cana-de-açúcar no Brasil, estando presente em seu território seis das principais usinas canavieiras do país (Usinas: Santo Antônio, Albertina, São Geraldo, Santa Elisa, São Francisco; Destilaria Santa Inês), as quais representam 30% do total da cana-de-açúcar processada no país.

Quanto as características físicas, Sertãozinho apresenta altimetria média de 500metros, variação pedológica, condições climáticas de inverno seco e verão chuvoso, temperaturas variando entre 10°C e 30°C e médias anuais de precipitação entre 1350mm e 1650mm.



Fonte: IBGE, 2000.

Fig. 1 - Localização do município de Sertãozinho no Estado de São Paulo, 2001.

3.2 Materiais Utilizados

- Imagem de Satélite LANDSAT 2-MSS.
Órbita/Ponto: 236/075 de 10/05/1981. Escala 1:50.000.

- Imagem de Satélite LANDSAT 5 –TM de 1990. Órbita/Ponto: 220/075 de 28/01/1990. Escala 1:50.000.

- Imagem de Satélite LANDSAT 7 –ETM+ de 2001. Órbita/Ponto: 220/075 de 11/06/2001. Escala 1:50.000.

- Base cartográfica digital do Estado de São Paulo. Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Escala 1:50.000, 2000. (CD-ROM).

- Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu – Relatório Zero. (MION et al., 1999).

- Relatório Final: Diagnóstico do Meio Físico e Estabelecimento de Diretrizes para Controle e Prevenção de Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu. (ROCHA et al, 2000).

- Softwares: ENVI 3.5; IDRISI 32 for Windows, Ermapper 6.2.

3.3 Procedimentos Metodológicos

O estudo da evolução das transformações no uso da terra no município de Sertãozinho seguiu as etapas (Fig. 2): processamento digital das imagens de satélite; georreferenciamento das imagens de satélite; recorte da área de estudo; interpretação visual do uso da terra; comparação entre os mapas gerados (tabulação cruzada), cálculo da Exatidão Total, do Produtor e do Usuário; e cálculo do Coeficiente KAPPA.

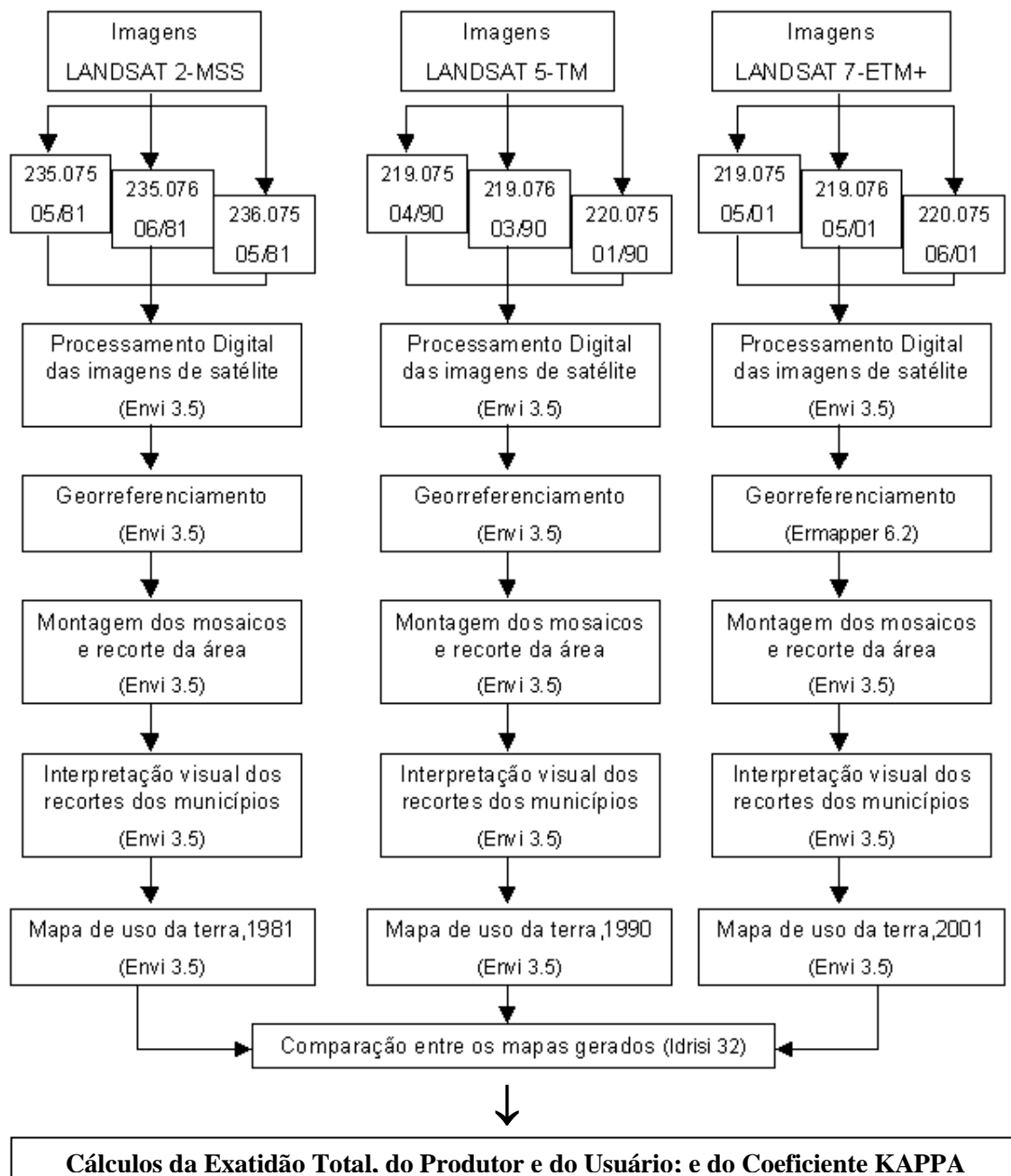


Fig. 2 – Metodologia utilizada na presente pesquisa.

3.3.1 Processamento Digital das Imagens de Satélite

Foram adquiridas três imagens de satélite em formato digital com o menor percentual de cobertura de nuvens possíveis. A partir das cenas brutas de 1990 e 2001, foram montadas composições coloridas RGB 453, cuja vegetação apresenta variações de tons de amarelo, verde e vermelho, o solo exposto aparece em tons de azul e a água em tons de azul escuro ou preto.

Também foram utilizadas técnicas que realçaram o contraste entre as cores das imagens. Em especial, na banda 4 (infravermelho próximo) foi aplicado filtro de Passa Altas com realce de borda (3X3), que de acordo com Crosta (1992), facilita o reconhecimento de contornos e feições lineares para serem utilizados no mapeamento do uso da terra.

Da imagem bruta de 1981, foi montada composição colorida RGB 412 com vegetação em tons de amarelo, laranja e vermelho, solo exposto em tons de verde e azul. Foi utilizado filtro de Passa Baixas com suavização (3X3) sobre a composição colorida, o que amenizou o ruído nas imagens.

3.3.2 Georreferenciamento das Imagens de Satélite

A imagem de satélite do ano de 2001 foi georreferenciada (Imagem X Imagem) no Software Ermapper 6.2, pois foi adotada como base da correção a imagem de 1997 da pesquisa desenvolvida por Rocha et al. (2000), cujo arquivo estava no formato do Software Ermapper (ERS).

Já as imagens de satélite dos anos de 1981 e de 1990, foram georreferenciadas (Imagem X Imagem) no software Envi 3.5 e tiveram como base a imagem de 2001. Esta atividade teve como objetivo localizar precisamente determinado ponto em um *layer*, previamente definido por um sistema de coordenadas, corrigindo as distorções do sistema de aquisição da imagem e dos movimentos da plataforma do sensor no instante de sua aquisição. Como padrão de referência para todas as imagens ficou estipulado: UTM 23S e DATUM Córrego Alegre.

Foi coletado grande número de pontos em cada imagem. Os pontos selecionados estão situados em áreas de fácil identificação como cruzamentos entre rios, estradas e vias férreas.

3.3.3 Recorte da Área de Estudo

No software ENVI 3.5, após o georreferenciamento das imagens de satélite, foram inseridos sobre as imagens de satélite o vetor da malha municipal de Sertãozinho sendo aí recortada a área de interesse.

3.3.4 Interpretação Visual do Uso da Terra

Segundo Crosta (1992), a interpretação visual de imagens de satélite considera que o usuário tenha conhecimento prévio das respostas espectrais das classes de mapeamento a serem analisadas, juntamente com as características intrínsecas do alvo como: padrão, textura, forma e contexto.

Nesta pesquisa, a interpretação visual do uso da terra foi realizada sobre os três recortes da área de estudo (1981, 1990 e 2001) do município de Sertãozinho. A legenda estipulada na interpretação visual foi composta pelas classes: (1) *outros*, (2) *cana-de-açúcar*, (3) *cultura anual*. Vale destacar que a classe *outros* engloba qualquer ocupação do solo, exceto as de interesse nesta pesquisa.

3.3.5 Comparação entre os mapas gerados

A comparação entre os mapas gerados, a partir da interpretação visual, foi realizada no software IDRISI 32 para Windows por meio da função de *Crosstab* – tabulação cruzada. Esta ferramenta permitiu comparar dois mapas classificados por vez e também gerar a matriz de erro para cada conjunto deles.

Segundo Congalton e Green (1999), a matriz do erro ou de confusão é uma matriz quadrada de números composta por linhas e colunas, a qual expressa a quantidade de unidades amostrais (pixels, conjuntos, ou polígonos) associada a uma determinada categoria durante o processo de classificação efetuado e a categoria real a que pertencem essas unidades.

Comumente numa matriz de erro, as colunas representam os dados de referência e as linhas indicam o mapa classificado. Entretanto, nesta pesquisa foram considerados como referência os mapas originários das imagens de satélite com datas mais recentes, ou seja, para o 1º período de análise foi considerada a imagem de 1990 e para os 2º e 3º períodos foi considerada a imagem de 2001.

Primeiramente, foram comparados os mapeamentos de uso da terra de 1981 e 1990, definidos como primeiro período de análise. Depois, 1990 e 2001, considerados segundo período de análise; e por último, o terceiro período de análise: 1981 e 2001.

Os resultados gerados nesta etapa da pesquisa foram tabelados definindo a área (em hectares), cujo cada cultivo agrícola sofreu alteração em sua composição ao longo dos anos. Isto possibilitou detectar os cultivos agrícolas que tiveram sua área expandida e os que foram substituídos.

3.3.6 Cálculo da Exatidão Total, do Produtor e do Usuário e o Cálculo do Coeficiente KAPPA

Com a matriz de erro é possível analisar as sobreposições entre mapas classificados e avaliar o desempenho da classificação para cada classe investigada, em que cada observação é avaliada de acordo com a classe que foi mapeada e a qual deveria ter sido mapeada. Tal procedimento pode ser realizado com o cálculo da Exatidão do Produtor e do Usuário. Também, a matriz de erro favorece a visualização dos resultados da classificação e expressa a relação entre dois tipos de erro - de Inclusão e os de Omissão. (CONGALTON e GREEN, 1999).

Nesta pesquisa foram calculadas a Exatidão Total, do Produtor e do Usuário, as quais são explicadas da seguinte forma:

A Exatidão do Produtor refere-se ao número de pixels incorretamente incluídos numa dada classe da legenda, no caso da presente pesquisa, ela corresponde a inclusão ou expansão de uma determinada classe da legenda entre o período inicial e o final.

A Exatidão do Produtor é calculado dividindo-se o número de pixels de uma dada classe da legenda pela somatória total da coluna que contém esta categoria, sendo que quanto maior o valor expresso em porcentagem, maior será a intensidade das mudanças ocorridas no uso da terra.

Já a Exatidão do Usuário refere-se ao número de pixels que embora pertencentes a uma dada categoria não foram nela incluídos, nesta pesquisa foi interpretado como o número de pixels que estavam presentes numa determinada classe da legenda no primeiro período e que mudaram de classe no período final. Nesta situação também, quanto maior o valor expresso em porcentagem, maior a intensidade da mudança entre as classes de uso da terra presentes na legenda.

A Exatidão do Usuário é calculada dividindo-se o número de pixels da célula correspondente a uma determinada classe da legenda na matriz de erro pela somatória total da linha em que está inserida esta classe.

A Exatidão Total, também chamada de Índice de Concordância Global, é calculada através da soma dos elementos da diagonal principal da matriz de erro e corresponde ao número de pixels classificados corretamente e o número total de pixels da matriz. Nesta pesquisa, a Exatidão Total agregou todas as mudanças na composição do uso da terra durante o período analisado. Quanto mais baixos os valores da Exatidão Total, mais intensas as alterações ocorridas.

Para ilustrar o procedimento do cálculo da Exatidão Total e análise/ verificação da Exatidão do Produtor e do Usuário e os Erros de Inclusão e de Omissão, segue o exemplo (Fig. 3) adaptado de Congalton e Green (1999, p. 46).

A Exatidão Total da matriz de erro exemplificada por Congalton e Green (1999) é igual a 74%. Os autores detalham o mapeamento da classe decídua e encontram o valor de 87% na exatidão do produtor (considerado bom) porém, esta mesma classe apresentou 57% na exatidão do usuário.

Os autores explicam que, embora os 87% das áreas destinadas à classe decídua fossem identificadas corretamente, somente 57% das áreas denominadas decíduas no mapa (dados da classificação) são realmente decíduas nos dados de referência.

Portanto, as porcentagens dos resultados da Exatidão Total, do Produtor e do Usuário revelam o grau de concordância entre os dados de referência e os dados classificados, sendo muito importantes para o controle da qualidade dos dados mapeados.

Rocha (1992) utilizou o coeficiente KAPPA como medida de exatidão de classificações de imagens de Sensoriamento Remoto. O autor também destaca que o coeficiente KAPPA é usado para testar o grau de concordância entre a realidade e os resultados de classificação contidos numa matriz de confusão ou erro

e que o grau de exatidão é expresso entre 0 e 1. Quanto mais próximo do valor 1, mais a classificação aproxima-se da realidade.

MATRIZ DE ERRO					
	D	C	AG	SB	Total (linha)
D	65	4	22	24	115
C	6	81	5	8	100
AG	0	11	85	19	115
SB	4	7	3	90	104
Total (coluna)	75	103	115	141	434

Classes de uso da terra:

D = Decídua

C = Conífera

AG = Agricultura

SB = Arbusto

Exatidão Total (Índice de Concordância Global)

$$(65+81+85+90)/434 = 74\%$$

Exatidão do Produtor

$$D = 65 / 75 = 87 \%$$

$$C = 81 / 103 = 79 \%$$

$$AG = 85 / 115 = 74 \%$$

$$SB = 90 / 141 = 64 \%$$

Erro de Inclusão

$$D = 100 - 87 = 13 \%$$

$$C = 100 - 79 = 21 \%$$

$$AG = 100 - 74 = 26 \%$$

$$SB = 100 - 64 = 36 \%$$

Exatidão do Usuário

$$D = 65 / 115 = 57 \%$$

$$C = 81 / 100 = 81 \%$$

$$AG = 85 / 115 = 74 \%$$

$$SB = 90 / 104 = 87 \%$$

Erro de Omissão

$$D = 100 - 57 = 43 \%$$

$$C = 100 - 81 = 19 \%$$

$$AG = 100 - 74 = 26 \%$$

$$SB = 100 - 87 = 13 \%$$

Fig. 3 - Exemplo de Matriz de Erro adaptado de Congalton e Green (1999, p. 46).

Segundo Congalton e Green (1999, p. 49) calcula-se o coeficiente KAPPA da seguinte forma:

$$KAPPA (K) = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (1)$$

Onde:

$$\theta_1 = \sum_{i=1}^k x_{ii} / N \quad (2)$$

$$\theta_2 = \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i}) / N^2 \quad (3)$$

x_{ii} é o valor da célula pertencente à linha i e coluna i na matriz de erro;

X_{i+} é o valor total das células da linha i na matriz de erro;

X_{+i} é o valor total das células da coluna i na matriz de erro;

N é o valor total das células na matriz de erro.

No município de Sertãozinho os mapas de uso da terra apresentaram três classes: 1) *outros*; 2) *cana-de-açúcar* e 3) *cultura anual*. Os cultivos de café e citrus foram incluídos na classe *outros* por dificuldades de classificação na imagem de satélite de 1981.

No mapa de uso da terra de 1981 pode-se observar significativa extensão de áreas com outros usos e cultura anual. (Fig.4). No mapa de uso de 1990 ficou evidente a expansão do cultivo de cana-de-açúcar. (Fig.5) e no mapa de 2001 o cultivo de cana-de-açúcar praticamente dominou a área do município. (Fig.6).

4. RESULTADOS

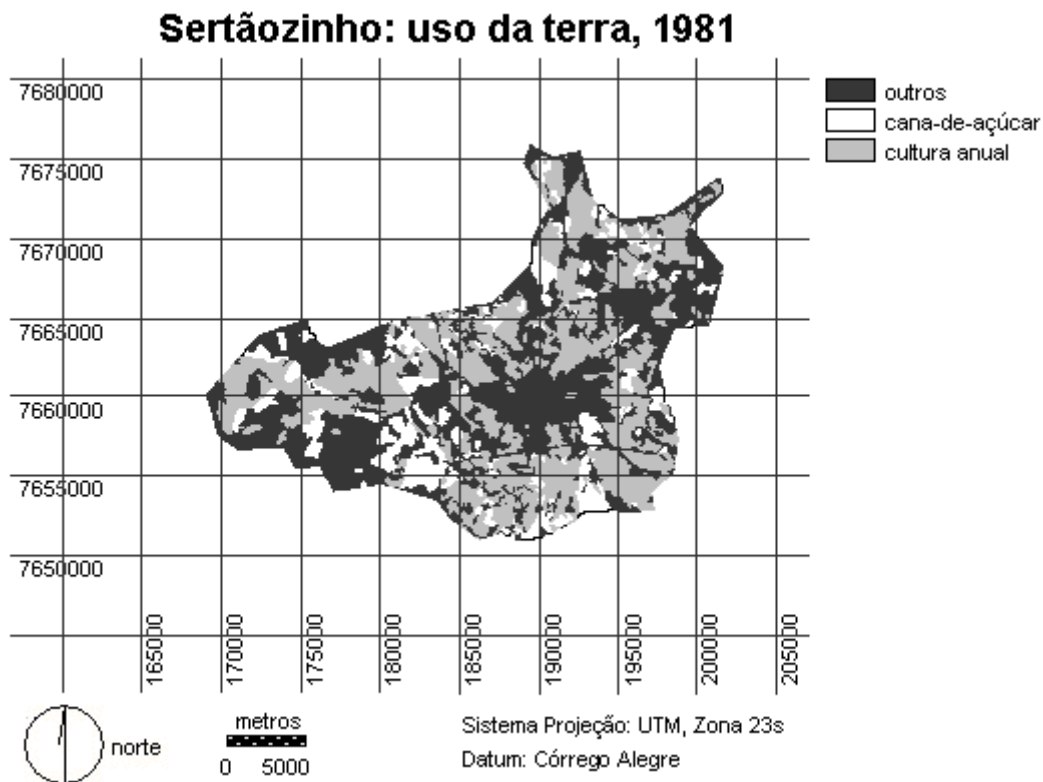


Fig. 4 – Mapa de uso da terra do município de Sertãozinho (SP), 1981.

Sertãozinho: uso da terra, 1990.

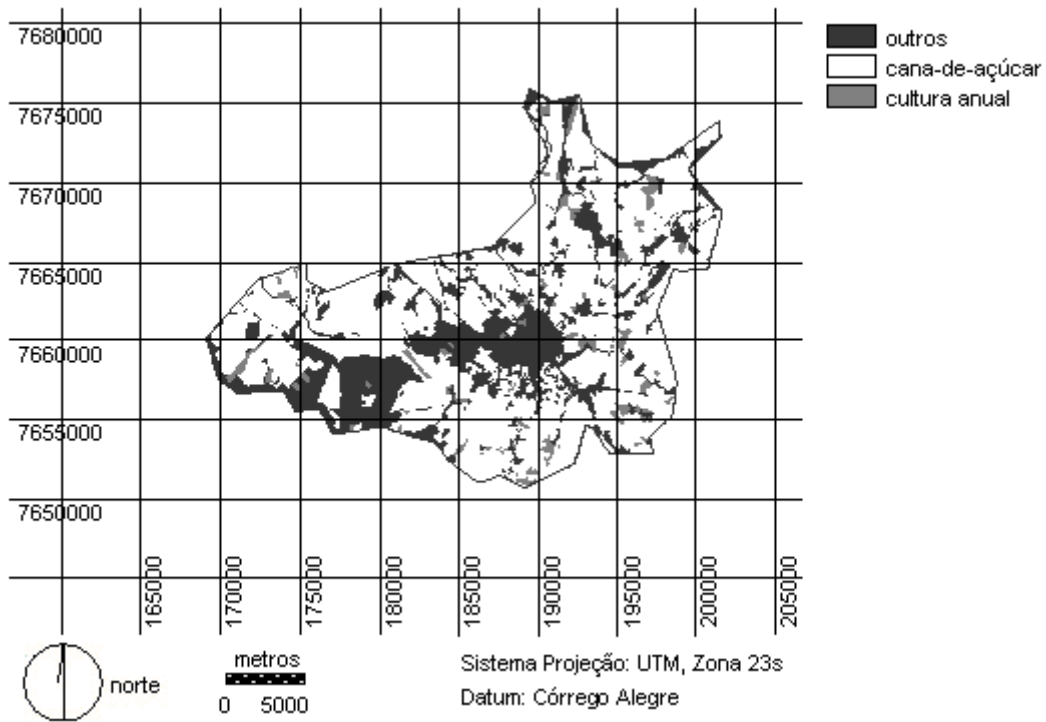


Fig. 5 – Mapa de uso da terra do município de Sertãozinho (SP), 1990.

Sertãozinho: uso da terra, 2001

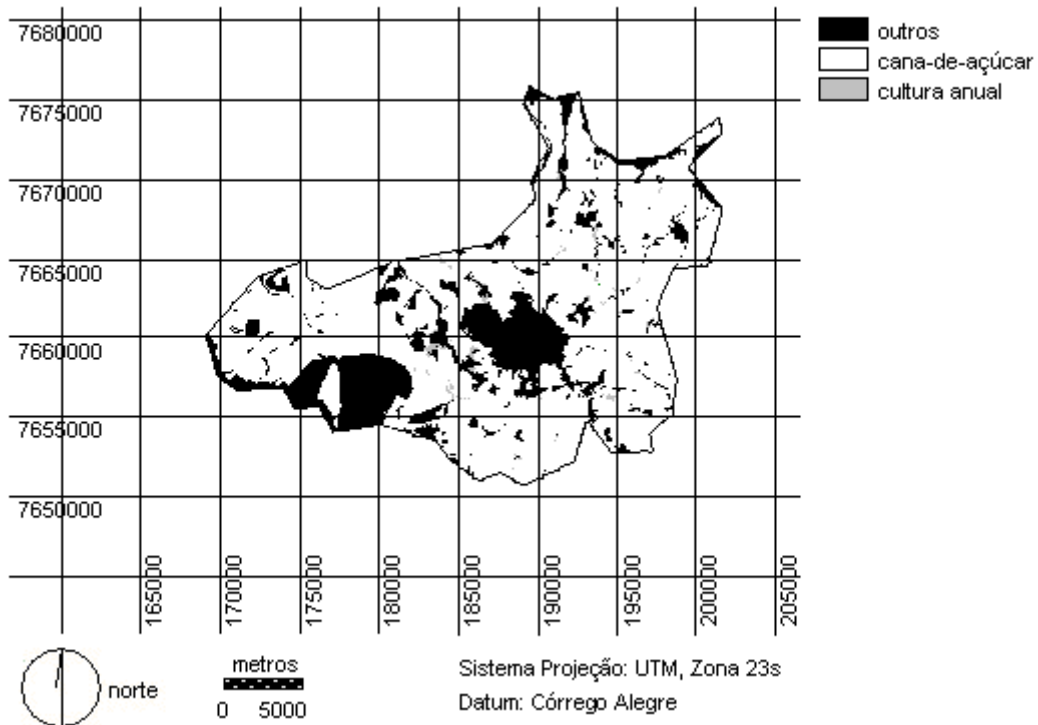


Fig. 6 – Mapa de uso da terra do município de Sertãozinho (SP), 2001.

A tabulação cruzada entre os mapas de uso da terra de 1981 e 1990 (Tabela 1) permitiu identificar as principais transformações ocorridas no município de Sertãozinho, pois foi a partir da década de 80 que ocorreram inúmeras substituições de diversos cultivos agrícolas por cana-de-açúcar.

TABELA 1: SERTÃOZINHO (SP): TABULAÇÃO CRUZADA NO 1º PERÍODO DE ANÁLISES ENTRE OS MAPAS DE USO DA TERRA DE 1981 E 1990

<i>Tabulação Cruzada uso 1981 / uso 1990</i>	<i>Hectares</i>
outros/ outros	8099,01
cana-de-açúcar/ outros	1463,31
cultura anual/ outros	1768,95
outros/ cana-de-açúcar	9881,27
cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar	3762,72
cultura anual/ cana-de-açúcar	13575,33
outros/ cultura anual	777,51
cana-de-açúcar/ cultura anual	304,20
cultura anual/ cultura anual	648,00

No cultivo de cana-de-açúcar, 3762,72hectares mantiveram-se constantes entre 1981 e 1990 (cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar), o que representou 9,34% da área total do município. Entretanto, 23456,60hectares foram incorporados a este cultivo (outros/ cana-de-açúcar e cultura anual/ cana-de-açúcar) até o final do período analisado (58,23%). Tais resultados foram motivados, principalmente, pela implantação do PROÁLCOOL, em 1975.

Já as áreas que permaneceram ocupadas com outros usos entre 1981 e 1990 (outros/ outros) foram 8099,01hectares, isto é, 20,11% do território de Sertãozinho. Também foram agrupadas nesta classe áreas provindas da cana-de-açúcar e da cultura anual, o que soma uma área de 3232,26hectares (8,02%).

Quanto à cultura anual, 648,00hectares (1,62%) não apresentaram modificações (cultura anual/ cultura anual) no período analisado e ainda agregaram uma área (outros/ cultura anual e cana-de-açúcar/ cultura anual) de 1081,71hectares (2,68%) ao longo dos anos.

Nos mapas de uso da terra de 1990 e de 2001, evidenciou-se o predomínio do cultivo de cana-de-açúcar no município de Sertãozinho. Os resultados da tabulação cruzada entre estes anos (Tabela 2) registraram que o cultivo de cana-de-açúcar permaneceu constante em 25438,13hectares (cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar), o que representa 63,15% de área total do município.

Ainda, quanto ao cultivo de cana-de-açúcar, o município de Sertãozinho, entre 1990 e 2001, agregou 5279,4hectares (13,11%) de áreas anteriormente ocupadas por outros usos e cultura anual.

A cultura anual, entretanto, apresentou somente 27,18hectares constantes entre os anos de 1990 e 2001 (cultura anual/ cultura anual), o que representa

0,07% da área total do município. E teve adicionado uma área de 256,59hectares de áreas ocupadas por outros usos e cana-de-açúcar (0,63%).

TABELA 2: SERTÃOZINHO (SP): TABULAÇÃO CRUZADA NO 2º PERÍODO DE ANÁLISES ENTRE OS MAPAS DE USO DA TERRA DE 1990 E 2001

<i>Tabulação Cruzada uso 1990 / uso 2001</i>	<i>Hectares</i>
outros/ outros	7342,38
cana-de-açúcar/ outros	1711,44
cultura anual/ outros	225,18
outros/ cana-de-açúcar	3802,05
cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar	25438,13
cultura anual/ cana-de-açúcar	1477,35
outros/ cultura anual	186,39
cana-de-açúcar/ cultura anual	70,20
cultura anual/ cultura anual	27,18

Já as áreas compostas por outros usos apresentaram estabilidade em 7342,38hectares (outros/ outros), o que representa 18,23% da área total do município e ainda um crescimento de 1936,62hectares (4,81%) entre os anos de 1990 e 2001. Tal fato pode ser atribuído ao cultivo de amendoim que também é importante na agroindústria do município.

Na tabulação cruzada entre os mapas de uso de 1981 e 2001 (Tabela 3), pode-se verificar a evolução dos cultivos agrícolas nos 20 anos de análise referente a esta pesquisa.

TABELA 3: SERTÃOZINHO (SP): TABULAÇÃO CRUZADA NO 3º PERÍODO DE ANÁLISES ENTRE OS MAPAS DE USO DA TERRA DE 1981 E 2001

<i>Tabulação Cruzada uso 1981 / uso 2001</i>	<i>Hectares</i>
outros/ outros	7096,68
cana-de-açúcar/ outros	1347,93
cultura anual/ outros	842,31
outros/ cana-de-açúcar	1628,99
cana-de-açúcar/ cana-de-açúcar	4141,17
cultura anual/ cana-de-açúcar	14939,45
outros/ cultura anual	171,90
cana-de-açúcar/ cultura anual	41,13
cultura anual/ cultura anual	70,74

O município de Sertãozinho registrou 4141,17hectares (10,28%) constantes no cultivo de cana-de-açúcar entre 1981 e 2001. Entretanto, foram adicionados ao longo dos anos a este cultivo 16568,44hectares (65,97%) provenientes de outros usos e da cultura anual, a qual foi a maior contribuição (14939,45hectares).

O cultivo de cultura anual apresentou na tabulação cruzada entre os mapas de uso da terra de 1981 e 2001, apenas 70,74hectares (0,17%) que

permaneceram constantes (cultura anual/ cultura anual) ao passar dos anos. Porém, entre as datas estudadas, foram agregadas a este tipo de cultivo 213,03hectares (0,52%) de áreas com outros usos e cana-de-açúcar.

Já, 7096,68hectares permaneceram ocupados com outros usos (outros/ outros) entre 1981 e 2001, isto é, 17,62% da área total do município. Este tipo de ocupação, ainda teve acrescido (cana-de-açúcar/outros e cultura anual/outros) 2190,24hectares (5,44%).

As matrizes de erro referentes a tabulação cruzada entre os mapas de uso da terra de Sertãozinho nos três períodos analisados (1981 e 1990; 1990 e 2001; 1981 e 2001) estão a seguir (Fig 7):

A partir de cada matriz de erro foram calculados a Exatidão Total, do Produtor e do Usuário; e o coeficiente KAPPA.

No primeiro período de análise, 1981 e 1990, (Tabela 4) o coeficiente KAPPA de Sertãozinho foi 16,09%. Como o coeficiente KAPPA varia entre 0 e 100%, o valor obtido aproxima-se do intervalo mínimo padrão representando baixa concordância entre os dois conjuntos de dados estudados, o que evidenciou mudanças efetivas na composição do uso da terra.

Quanto a Exatidão Total, Sertãozinho apresentou 50,19%. Numa análise mais detalhada, a classe cana-de-açúcar com valor de 79,49% na Exatidão do Produtor foi a que mais apresentou crescimento no período. Já os cultivos que migraram, principalmente para classe cana-de-açúcar, foram provenientes da

classe outros (63,60%) seguido pela classe cultura anual (16,17%), valores da Exatidão do Usuário.

TABELA 4: RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA EXATIDÃO TOTAL, DO PRODUTOR E DO USUÁRIO; E DO COEFICIENTE KAPPA ENTRE OS MAPAS DE USO DA TERRA DE SERTÃOZINHO NO PRIMEIRO PERÍODO DE ANÁLISE, 1981 E 1990

<i>Classe de uso da terra</i>	<i>Exatidão do Produtor (%)</i>	<i>Exatidão do Usuário (%)</i>	<i>Exatidão Total (%)</i>	<i>Coefficiente KAPPA (%)</i>
(1)	38,09	63,60		
(2)	79,49	46,90		
(3)	5,14	16,17		
(4)			50,19	16,08

- (1) Outros
- (2) Cana-de-açúcar
- (3) Cultura anual
- (4) Todas as classes

Com esses resultados pode-se concluir que no primeiro período de análise houve a substituição de cultivos agrícolas e de outros usos da terra pelo cultivo de cana-de-açúcar, que se expandiu durante a década de 80.

1981 e 1990	Outros	Cana-de-açúcar	Cultura anual	Total
Outros	76971	28208	15835	121014
Cana-de-açúcar	116848	139186	40733	296767
Cultura anual	8210	7697	3069	18976
	202029	175091	59637	436757
1990 e 2001	Outros	Cana-de-açúcar	Cultura anual	Total
Outros	81582	19016	2502	103100
Cana-de-açúcar	42245	284103	16415	342763
Cultura anual	2071	780	302	3153
	125898	303899	19219	449016
1981 e 2001	Outros	Cana-de-açúcar	Cultura anual	Total
Outros	78852	9359	14977	103188
Cana-de-açúcar	129211	167547	46013	342771
Cultura anual	1910	786	457	3153
	209973	177692	61447	449112

Fig 7 - Matrizes de erro referentes a tabulação cruzada entre os mapas de uso da terra do município de Sertãozinho nos três períodos analisados (1981, 1990 e 2001).

No segundo período de análise, 1990 e 2001 (Tabela 5), o valor obtido no cálculo do coeficiente KAPPA foi de 55,83%, que significou a expansão e a consolidação do cultivo de cana-de-açúcar em Sertãozinho.

TABELA 5: RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA EXATIDÃO TOTAL, DO PRODUTOR E DO USUÁRIO; E DO COEFICIENTE KAPPA ENTRE OS MAPAS DE USO DA TERRA DE SERTÃOZINHO NO PRIMEIRO PERÍODO DE ANÁLISE, 1990 E 2001

Classe de uso da terra	Exatidão do Produtor (%)	Exatidão do Usuário (%)	Exatidão Total (%)	Coeficiente KAPPA (%)
(1)	64,80	79,12		
(2)	93,48	82,88		
(3)	1,57	9,57		
(4)			82	55,83

- (1) Outros
 (2) Cana-de-açúcar
 (3) Cultura anual
 (4) Todas as classes

Também na Exatidão Total, o município obteve 82,2%, numa análise mais detalhada as classes que apresentaram maiores mudanças foram a cana-de-açúcar com a expansão em sua área plantada e as principais classes que cederam espaço foram outros usos.

De modo geral, o segundo período de análise apresentou mudanças na estrutura dos cultivos agrícolas acompanhando as tendências econômicas predominantes nos anos 90, com a substituição dos cultivos agrícolas menos rentáveis pela cana-de-açúcar.

No terceiro período de análise, 1981 e 2001 (Tabela 6), o coeficiente KAPPA apresentou valor de 23,62%, isto representa que no período estudado houve baixa concordância entre os dois conjuntos de dados. Pode-se concluir que ocorreram intensas mudanças na composição do uso da terra no município de Sertãozinho.

TABELA 6: RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA EXATIDÃO TOTAL, DO PRODUTOR E DO USUÁRIO; E DO COEFICIENTE KAPPA ENTRE OS MAPAS DE USO DA TERRA DE SERTÃOZINHO NO PRIMEIRO PERÍODO DE ANÁLISE, 1981 E 2001

Classe de uso da terra	Exatidão do Produtor (%)	Exatidão do Usuário (%)	Exatidão Total (%)	Coeficiente KAPPA (%)
(1)	37,55	76,41		
(2)	94,29	48,88		
(3)	0,74	14,49		
(4)			54,96	23,62

- (1) Outros
 (2) Cana-de-açúcar

- (3) Cultura anual
 (4) Todas as classes

A Exatidão Total foi de 54,96% sendo que nesse período de análise ocorreram as mesmas tendências apresentadas anteriormente com a expansão do cultivo de cana-de-açúcar, que ocuparam espaço da cultura anual e de outros usos.

Por fim, pode-se considerar que Sertãozinho tornou-se especialista no cultivo de cana-de-açúcar. Este fato atraiu para o município outras atividades econômicas que englobam o processo produtivo deste cultivo, como usinas de açúcar e álcool e indústrias de máquinas agrícolas.

5. CONCLUSÃO

Quanto às ferramentas de geoprocessamento utilizadas na detecção das transformações do uso da terra pode-se considerá-las apropriadas, pois fez com que fossem locados onde ocorreram as mudanças com precisão. Por meio de análise de séries temporais foi possível inferir sobre as causas que levaram a tais transformações nos 20 anos de análise.

O processo de especialização do município de Sertãozinho em cana-de-açúcar pode ser atribuído as mudanças ocorridas ao longo dos anos no Brasil, tais como no final da década de 70 com o incentivo da produção do produto com a instituição do PROALCOOL, na década de 80 com as adaptações no campo causadas por diversas crises financeiras e pela instabilidade econômica gerada pelos planos econômicos adotados pelo governo e, atualmente, com o processo de Globalização que impulsionou a maior participação do país em produtos agrícolas exportáveis.

Assim, pode-se concluir que como consequência das intensas transformações no uso da terra no município de Sertãozinho, este se tornou um dos mais importantes centros sucro-alcooleiros do país, trazendo consigo avanços em diversos ramos de atividades, como a indústria metalúrgica, que produz máquinas agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAD, M. L., HAMADA, E., CAVALIERI, A. **Sistema de Informações Geográficas na avaliação de terras para a agricultura.** Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura.191-228p. Brasília: EMBRAPA, SPI/EMBRAPA – CPAC,1998.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for Land Resources Assessment.**333p. OXFORD: New York, 1986.
- CÂMARA, G., CASANOVA, M.; HERMELY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.**193p. Instituto

de Computação, Universidade de Campinas, Campinas, 1996.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Lewis Publishers, Florida, 1999.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**.170p. Universidade Estadual de Campinas, Campinas,1992.

EASTMAN, R.J. **Idrisi for Windows: user's Guide version 1.0**. Worcester:Clark University, IDRISI Production, 1996.

FOODY, G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**. v. 80, p.185-201, 2002.Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/rse>>. Acesso em: maio de 2004.

FRANKLIN, S.E.et al. Large-area forest structure change detection: An example. **Canadian journal Remote Sensing**. v. 28, n.4, pp.588-592,2002.

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

IBGE, Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base cartográfica digital**. Escala 1:50.000, 2000 (CD-Rom).

Lo,C.P. **Applied Remote Sensing**. 393p. Longman Scientific & Technical, New York 1986.

MION, L.C. (Org); CAVALIERI, A.; et al. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu**. Relatório Zero, 1999. Disponível em<<http://www.recursoshidricos.sp.gov.br>>Acesso em julho de 2000.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto : princípios e aplicações**. 308P. E. Blucher, São Paulo ,1989.

OLIVEIRA, R.A.P. **Adequação da dinâmica do uso agrícola e avaliação sócio-econômica das terras do município de Aguaí-SP**. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ROCHA, J. V.(Org.), LAMPARELLI, R. A., WEILL, M.A.M., et al. **Diagnóstico do Meio Físico e Estabelecimento de diretrizes para controle e prevenção de erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu (SP)**. Relatório de Pesquisa, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SANTOS, M. A. **Quantificação e análise de mudanças de uso da terra na Região de Paranatinga (MT) através de Sensoriamento Remoto**. Monografia - Curso Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, Campinas, 1999.

SCHEER, M. A. P. S. **Geoprocessamento e o modelo Shift-Share na análise das transformações do uso da terra nos municípios do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu (SP), 1979 a 2001**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SERTAOZINHONET. Disponível em: <<http://www.sertaozinho.com/industrias.html>>. Acesso em: maio de 2004.

SILAPASWAN, C.S.; VERBYLA, D.L.; MCGUIRE, A.D. Land Cover Change on the Seward Peninsula: The Use of Remote Sensing to Evaluate the Potential influences of Climate Warming on Historical Vegetation Dynamics. **Canadian Journal of Remote Sensing**. v. 27, n. 5, p. 542-554, Outubro,2001.

SU, Z. **Remote Sensing of land use and vegetation for moscoscale hydrological studies**. International Journal of Remote Sensing ,21: (2), janeiro de 2000.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. 80p Rio Claro, Ed. autor,1988.

ULBRICHT, K. A.; HELCKENDORFF, W.D. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 53, p. 235 – 243, 1998. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/rse>> Acesso em: maio de 2004.

VESCOVI, F. D.; GOMARASCA, M. A. **Integration of optical and microwave remote sensing data for agricultural land use classification**. Environ Monit Asses 58: (2), setembro de 1999.

WICKHAM, J.D. et al. Thematic accuracy of the 1992 National Land-Cover Data for the western United States. **Remote Sensing of Environment**. Aceito em 18 de abril de 2004 (inédito), Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/rse>>. Acesso em: maio de 2004.