

Uso de dados de sensoriamento remoto para análise multitemporal da cafeicultura no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba nos anos de 2008 e 2014.

Maurício Alves Moreira¹
Denis Mariano Araujo¹
Nathália Suemi Saito¹
Denise Zanatta Martini¹
Rennan de Freitas Bezerra Marujo¹
Viviane Gomes Cardoso de Faria²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, CEP 12245-970 São José dos Campos, SP. E-mail: {mauricio, denis.m, nssaito, denise, rennan}@dsr.inpe.br,

²AgriTrend Inc. 1911 Highfield Cres SE, Calgary, AB, T2G5M1, Canada
vfaria@agritrend.com

Abstract - The success of coffee production is intimately correlated with environmental (climate, soil type, etc) and cultural factors. In Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba region, due the plan relief in the plateaus and the quality beverage, the area planted with crop coffee in this region has increased in recent years. This fact justifies a continuous monitoring of this crop in terms of expansion area for planning of public and private initiatives purposes. The crop coffee remains in the ground all year and for several consecutive years. So, the chance to get satellite images free of cloud cover is higher, compared to annual crops, most of which is grown in the rainy season. So, the objective of this research was to evaluate the spatial dynamics of the crop coffee in the period from 2008 to 2014, based in visual interpretation of images of the TM/Landsat-5 and OLI/Landsat-8. It was found that the crop coffee is present in only 36 of the 66 municipalities in the region. The expansion of the area of crop coffee in this period was 23.5%. The municipality of Ibiá was observed where the largest expansion of coffee crop area, with an increase of 4,886 ha (135%).

Palavras-chave: crop coffee, satellite images, mapping and monitoring area, cultura do café, imagens de satélites, mapeamento e monitoramento de área.

1. Introdução

Em Minas Gerais a cafeicultura cresceu, principalmente, depois de 1970 e superou os dois estados maiores produtores da época, Paraná e São Paulo. Segundo Carneiro et al. (2005) isto se deu basicamente por três motivos: (i) existência de um Plano de Renovação e Revigoração dos Cafezais, proposto pelo extinto Instituto Brasileiro do Café (IBC), (ii) ocorrência de geadas nas principais áreas de produção dos Estados de São Paulo e Paraná (SILVA e REIS 2001) e (iii) a *Revolução Verde*, que consistiu do desenvolvimento de uma série de técnicas e tecnologias que possibilitaram a expansão da agricultura sobre o cerrado. Ainda, segundo Carneiro et al. (2005), nesta expansão agrícola dois programas foram fundamentais, são eles: o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER), cuja meta era produzir grãos e outras culturas no cerrado com alta tecnologia, como difusão das técnicas de correção e adubação de solos. Nesse sentido, esse conjunto técnicas e tecnologias foram fundamentais para a expansão não só do café, como também da soja, do milho e do algodão sobre o cerrado.

O cerrado mineiro é a primeira região produtora de café demarcada no Brasil desde abril de 1995, de acordo com o decreto do Governo de Minas Gerais. A marca *Café do Cerrado*, reconhecida mundialmente pelo sabor diferenciado e pela alta qualidade, faz parte de um sistema denominado de “*Sistema de Café do Cerrado*”, cuja gestora e mantenedora da marca é a Federação dos Cafeicultores do Cerrado. Esta entidade mantém diversos convênios com instituições brasileiras e internacionais, com o intuito de desenvolver programas de capacitação para os cafeicultores do cerrado, para atender as exigências de segurança alimentar, responsabilidade ao meio-ambiente e social. Como resultados obteve-se um café de

elevada qualidade de bebida, que passou a ser dirigido, essencialmente, para a exportação (ORTEGA e JESUS, 2011).

O Triângulo Mineiro e Alto do Paranaíba embora seja composto por planaltos, serras e chapadas, com altitudes variando entre 820 e 1.100 metros, apresenta extensas áreas planas (chapadões) onde a mecanização agrícola é favorecida. Saes e Jayo (1997) comentam que nesta região diversos fatores meteorológicos favorecem o cultivo do café, dentre eles tem-se: (i) clima mais quente e seco no inverno, com temperaturas médias variando entre 18°C e 21°C (tropical de altitude); a temperatura mínima fica de 10°C nos meses de junho e julho, o que impossibilita a ocorrência de geada; (ii) o verão, época da florada do café, é quente e chuvoso, o que favorece a formação dos futuros frutos, já no inverno o ar quente e seco favorece o processo de maturação, retendo aroma e sabor ao café e dificultando a fermentação por fungos; (iii) a precipitação média varia entorno de 1.200 a 1.800 mm.ano⁻¹. Os dois meses mais chuvosos são março e outubro, que concentram grande parte da chuva do ano inteiro e, no período entre maio e setembro, os índices pluviométricos reduzem muito, chegando próximo de zero. Diante da existência de um longo período de estiagem a irrigação tornou-se uma necessidade básica para a produção do café no cerrado. Por esta razão, praticamente 100% dos produtores utilizam a irrigação nos seus cafezais. Para os dias atuais, em que a água esta se tornando um bem escasso, é importante planejar muito bem a expansão da cafeicultura nessas regiões, onde a irrigação é imprescindível. Esse planejamento requer o monitoramento constante dos cafezais (especialização das lavouras).

Além disso, o conhecimento espacial das lavouras permite saber, por exemplo, o impacto desta cultura no ambiente e infraestruturas existentes para o armazenamento e escoamento da produção. É evidente que essas informações não são alheias no setor produtivo, mas o caráter subjetivo na coleta dos dados pode levar a um planejamento pouco realístico.

Neste contexto o uso de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, para mapear e monitorar a cafeicultura quer seja no âmbito estadual, regional ou municipal é, para muitos pesquisadores, uma opção inteligente, dada a visão global, o caráter multiespectral e a periodicidade na obtenção dos dados (ROSA, 2003; MOREIRA et al., 2004, 2007; CAMPOS, 2009).

Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise a dinâmica espaço-temporal da cafeicultura no Triângulo Mineiro e Alto do Paranaíba para os anos de 2008 e 2014, por meio de dados de sensoriamento remoto tratados por técnicas de geoprocessamento.

2. Material e métodos

A área de estudo é a Mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, localizada na região oeste do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas 18° 00' 00" e 21° 00' 00" S, 46° 00' 00" e 51° 00' 00" W. Esta Mesorregião é formada por sete Microrregiões e 66 municípios assim agrupados: *Araxá* (10 municípios); *Frutal* (12 municípios); *Ituiutaba* (6 municípios); *Patos de Minas* (10 municípios); *Patrocínio* (11 municípios), *Uberaba* (7 municípios); *Uberlândia* (10 municípios) (Figura 1).

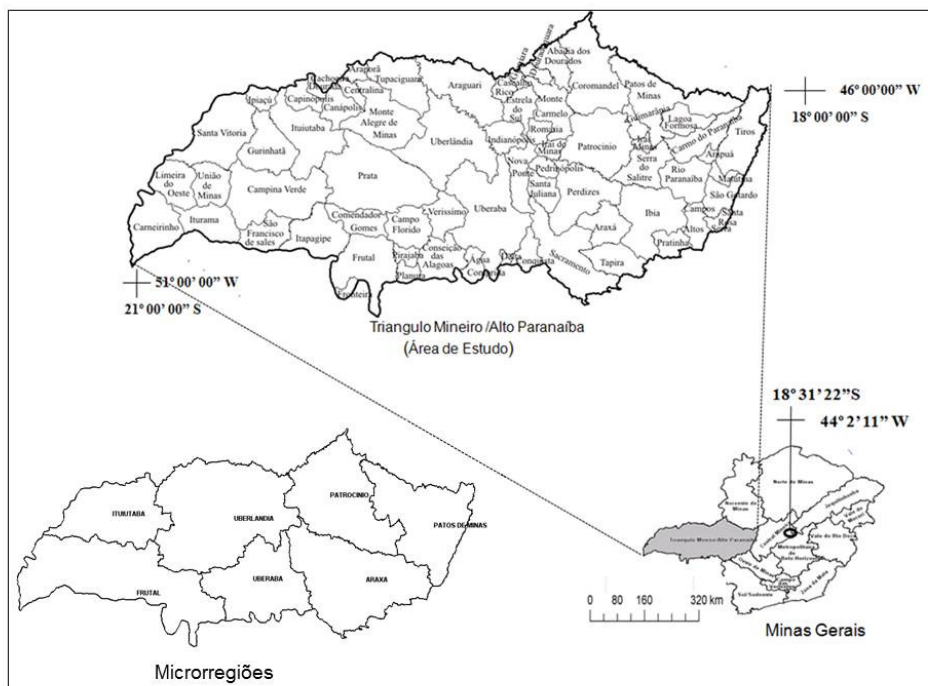


Figura 1 – Área de estudo

Para cobrir esta região foram necessárias 8 imagens do TM/Landsat-5 e do OLI/Landsat-8, referentes às órbitas/pontos: 219/73 e 74; 220/73 e 74; 221/73 e 74 e 222/73 e 74, obtidas no período seco (julho a setembro).

Para o mapeamento das lavouras de café utilizou-se a abordagem híbrida de classificação, que é composta por uma etapa computacional e uma fase visual (MOREIRA et al., 2004). As imagens do TM/Landsat-5 foram restauradas segundo recomendação de Fonseca (1988), com pixels das imagens de saída com tamanho de 15m x 15m (MOREIRA et al., 2007). Essas imagens foram georreferenciadas no aplicativo Envi 4.8, cujo erro foi menor de 0,01 pixel. As imagens georreferenciadas foram salvas no formato TIFF/GeoTIFF e importadas para o Spring, versão 4.3.3, com projeção WGS84 e o Datum SAD69. Já as imagens do OLI/Landsat-8 disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS) na internet, são georreferenciadas e ortorretificadas. Na etapa computacional aplicou a abordagem de classificação não-supervisionada através do algoritmo Iseog.

A etapa visual da classificação híbrida consiste de uma interação do interprete com computador para corrigir estes erros. Em outras palavras, esta etapa estabelece um link dinâmico entre o analista e o computador, que permite visualizar vários Planos de Informação (PI's) de forma simultâneas e interativa. Para corrigir os erros utilizou a ferramenta de Edição Matricial, implementada no aplicativo Spring (MOREIRA et al., 2004). Como dado auxiliar utilizou-se as imagens de alta resolução espacial, contidas no sitio do Google Earth.

O resultado final foi expresso em um mosaico contendo a informação das lavouras de café na área de estudo e, através de álgebra de mapas fez-se o cruzamento desse mosaico com o mapa político contendo os limites municipais de Minas Gerais (PRODEMGE, 1998) para obter a área plantada com café por município, nos dois anos analisados.

De modo geral, os mapas temáticos gerados a partir de uma classificação carregam dois tipos de erros, que segundo Adami et al. (2011) são definidos com base em dois aspectos cartográficos: o temático e o de posicionamento. O temático corresponde à *precisão* do mapa, ou seja, avalia quão real a classe mapeada corresponde à classe de uso e ocupação do solo. Já o aspecto de posicionamento está relacionado com a *exatidão* de mapeamento, isto é, um polígono que foi mapeado como café é realmente café? Dois tipos de erros estão relacionados

com a exatidão do mapeamento são eles: (i) *erro de inclusão* - mapeamento de áreas de outros usos do solo como sendo Café e (ii) *erro de omissão* - áreas de café não classificadas.

Para avaliar a exatidão de cada mapeamento empregou-se a metodologia sugerida por Adami et al. (2009), que consiste numa mostra de 104 pontos alocados aleatoriamente sobre os dois mapas, sendo 52 pontos em polígonos de café e 52 em área de não-café. A partir dos resultados destas amostras gerou-se numa matriz de confusão considerando duas classes de uso e ocupação do solo, café e não café. Baseado no número de acerto e de erro foi, então, calculado a exatidão global (P_o), conforme a Equação 1.

$$P_o = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ii}}{n} \quad (1)$$

em que: m representa o número de categorias presentes na matriz de erro; n_{ii} , os elementos corretamente classificados, presentes na diagonal principal; n_{i+} , o somatório dos elementos da linha e n_{+i} , o somatório dos elementos da coluna na matriz de confusão.

A análise de significância da expansão ou retração da área cafeeira do ano de 2014 em relação a 2008 foi fundamentada na hipótese de nulidade para cada Microrregião produtora e para o total de municípios na área de estudo (Mesorregião), ou seja:

$$H_o: \mu_{antes} = \mu_{depois} \quad e \quad H_a: \mu_{antes} \neq \mu_{depois}$$

Como as áreas de café foram obtidas nos mesmos indivíduos (municípios) para 2008 (antes) e para 2014 (depois), aplicou-se o teste t pareado (Equação 2).

$$t = \frac{\bar{d} - 0}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} = \frac{\sqrt{nd}}{S_d} \quad (2)$$

em que: \bar{d} é a diferença média das duas observações, que variou para cada microrregião produtora de café, S_d é o desvio padrão das médias e n é o numero de observações.

3. Resultados e Discussão

A área de café mapeada através das imagens do TM/Landsat-5 e OLI/Landsat8 para os anos de 2008 e 2014 foi de 137.538ha e 169.810ha respectivamente. Este resultado mostra que houve uma expansão de área café de 23,5%, em relação ao ano de 2008. Foi observado que o cultivo do café tanto em 2008 quanto em 2014 foi sempre nos mesmos municípios. Tendo em vista que não houve diferença na espacialização das lavouras nos dois anos analisados, optou-se por mostrar apenas a distribuição espacial dos cafezais para o ano de 2014 (Figura 2).

Os resultados do mapeamento dos cafezais para os anos de 2008 e 2014 por Microrregiões e por municípios foram expressos na forma de gráficos de barra (Figura 3). Durante a etapa de interpretação das imagens de satélite não foi observada a presença de lavouras de café nas Microrregiões de Frutal (12 municípios) e Ituiutaba (6 municípios), conforme pode ser visto na Figura 2. Este resultado é corroborado por Melo Junior et al., (2001), ao comentar que essas duas microrregiões encontram-se sob uma região edafoclimaticamente inapta para a prática da cafeicultura. Desta forma, a prática de cultivo do café na área de estudo ocorre nas Microrregiões de Araxá, Patrocínio, Patos de Minas e, em menor proporção nas Microrregiões de Uberlândia e Uberaba. Nessas regiões estão inseridos 36 municípios. Em dois deles não foi observada a presença da cultura de café. Assim, o universo cafeeiro ficou resumido em 34 municípios.

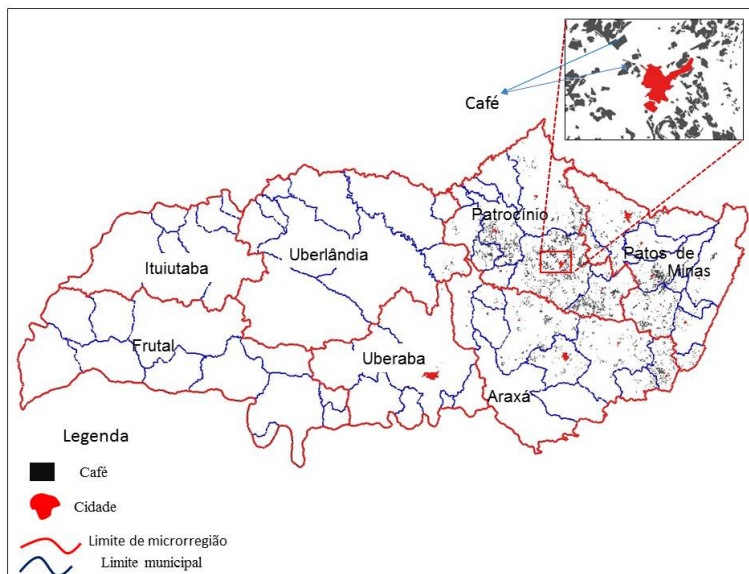


Figura 2 – Distribuição espacial das lavouras de café na área de estudo para o ano de 2014.

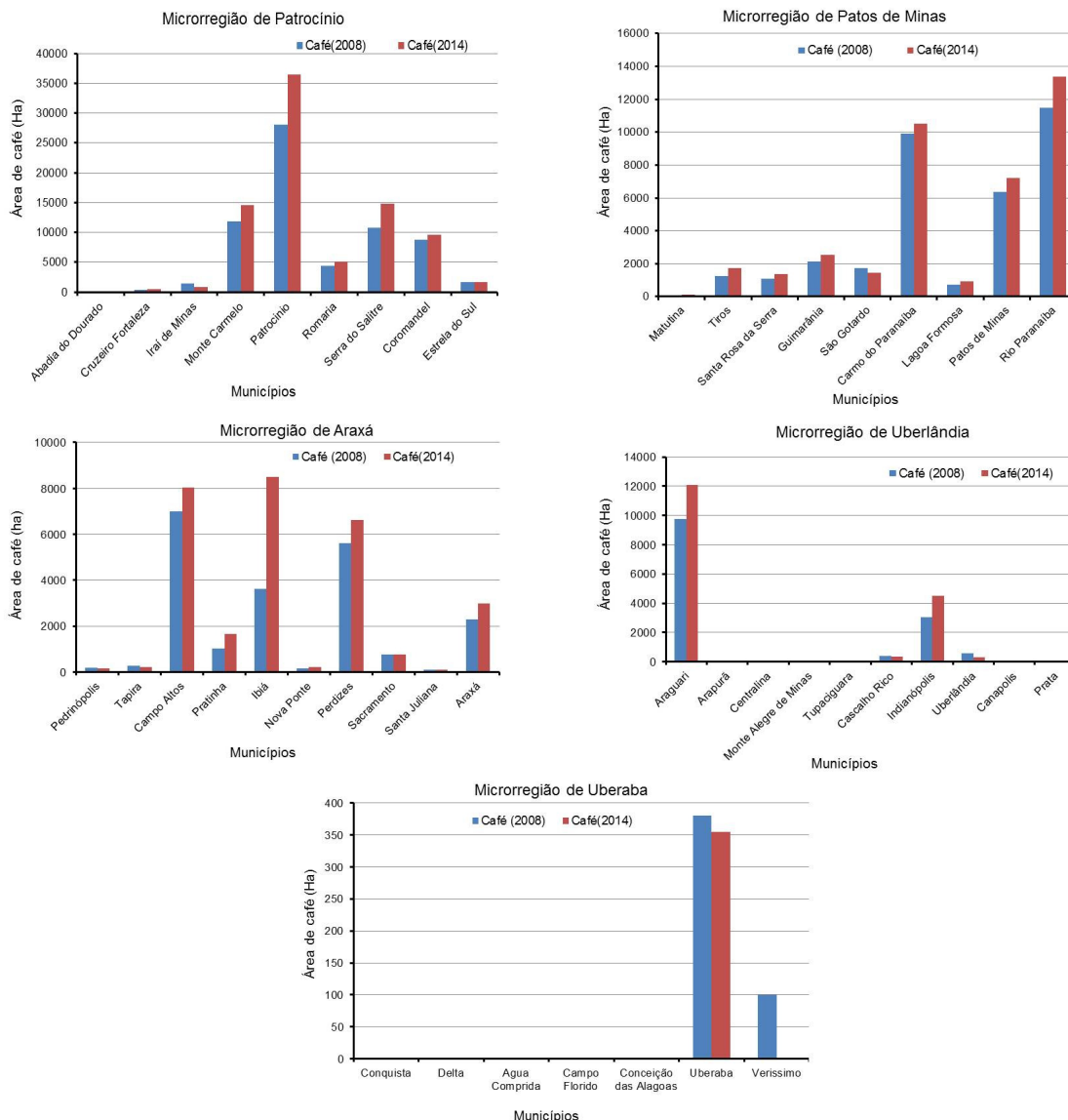


Figura 3 – Área de café por microrregião e por município na área de estudo.

Por outro lado, foi constatado que, aproximadamente, 85% dos cafezais estão contidos em 12 municípios, conforme pode ser observado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Área de café por Microrregião e por municípios maiores produtores e a relação (%) destes municípios com o total de café na Microrregião, ano de 2008.

Microrregião	Área de café (ha)	Municípios Maiores Produtores	Área de café em 2008 (ha)	(%) em Relação à área total da Microrregião	Somatório das (%) em relação a microrregião
Patrocínio	67.448	Patrocínio	28.100	41,6	88,4
		Monte Carmelo	11.880	17,6	
		Serra do Salitre	10.800	16,0	
		Coromandel	8.880	13,1	
Araxá	21.010	Campos Altos	7.000	33,3	77,1
		Ibiá	3.620	17,2	
		Perdizes	5.600	26,6	
Patos de Minas	34.760	Rio Paranaíba	11.500	33,1	79,9
		Patos de Minas	6.360	18,3	
		Carmo Paranaíba	9.900	28,5	
Uberlândia	13.840	Araguari	9.750	70,4	92,4
		Indianópolis	3.050	22,0	
Total de café em 2008 = 137.538 ha (100%)			116.440	Em relação ao total = 84,7	

Tabela 2 – Área de café por Microrregião e por municípios maiores produtores e a relação (%) destes municípios com o total de café na Microrregião, ano de 2014.

Microrregião	Área de café (ha)	Municípios Maiores Produtores	Área de café em 2014 (ha)	(%) em Relação à área total da Microrregião	Somatório das (%) em relação à microrregião
Patrocínio	83.677	Patrocínio	36.439	43,5	90,2
		Monte Carmelo	14.620	17,5	
		Serra do Salitre	14.821	17,7	
		Coromandel	9.597	11,5	
Araxá	29.259	Campos Altos	8.037	27,4	79,2
		Ibiá	8.506	28,9	
		Perdizes	6.632	22,7	
Patos de Minas	39.259	Rio Paranaíba	13.376	34,1	79,2
		Patos de Minas	7.202	18,4	
		Carmo Paranaíba	10.530	26,8	
Uberlândia	17.260	Araguari	12.094	70,1	96,2
		Indianópolis	4.517	26,2	
Total de café em 2014 = 169.810 ha (100%)			146.371	Em relação ao total = 86,2	

A Microrregião de Patrocínio é composta por 10 municípios, a área de café mapeada nas imagens de satélite, para os anos de 2008 e 2014 foi de 67.448ha e de 83.677ha, respectivamente, ou seja, um acréscimo de 19,4%, em relação a 2008. No entanto, conforme é mostrado nas Tabelas 1 e 2, apenas 4 municípios respondem, aproximadamente, por mais de 90% da cafeicultura nesta Microrregião. O Município de Patrocínio é, sem dúvida, o maior produtor de café. Neste município constatou-se um aumento de 8.339 ha, em relação a 2008.

Na microrregião de Araxá, também composta por 10 municípios, a área de café mapeada nos anos de 2008 e 2014 foi de 21.010ha e 29.259ha respectivamente. O acréscimo em área de café nesta Microrregião foi de 28,2%, maior do que a observada para a Microrregião de Patrocínio. Ao observar os resultados para o ano de 2008 e 2014 percebe-se que o município

de Ibiá foi onde ocorreu a maior expansão desta cultura, com um acréscimo de área de 135% em relação a 2008. A variação de área de café nesta Microrregião foi muito parecida com a de Patrocínio, ou seja, de 8.249ha.

Na Microrregião de Uberaba foi mapeado lavouras de café somente nos municípios de Uberaba (em 2008 e 2014) e Veríssimo (em 2008), assim mesmo, em pequena quantidade. Nesta Microrregião, conforme pode ser observado na Figura 2, ocorreu uma retração de área de café. Nestes municípios, segundo secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Aquicultura e Abastecimento predominam monoculturas da soja, do milho, do algodão, da cana-de-açúcar, ou da produção de madeira.

Na Microrregião de Uberlândia o café é cultivado em quatro municípios Araguari, Cascalho Rico, Indianópolis e Uberlândia. A área de café que foi mapeada nos anos de 2008 e 2014 foi de 13.840ha e 17.260ha, respectivamente, o que representou uma expansão de área em relação a 2008 de 19,8%. Nesta Microrregião Araguari destaca como o maior produtor, com área de 9.750ha e 12.094ha para 2008 e 2014 respectivamente, o que representou uma expansão de área de 19,4%, em relação a 2008.

De modo geral, observa-se que a expansão de área cafeeira em para as Microrregiões de Patrocínio e Uberlândia foi muito semelhante ($\cong 19,0\%$). Na Microrregião de Uberaba houve retração da área plantada e em Araxá a expansão de área de café foi de 28,2%.

A exatidão geral (Eq.1) do mapeamento do café nos anos de 2008 e 2014 foi de 94,2% e 96,2% respectivamente.

O resultado do teste t_{pareado} é mostrado abaixo.

$$t_{\text{observado}} = \frac{\overline{y_i} - \overline{x_i}}{S_d / \sqrt{n}} = \frac{47,8}{26,25} = 18,2^*$$

para $\alpha = 0,05$ tem-se $t_{(\alpha=0,05)n=34} = 1,68$. Como $t_{\text{observado}} > t_{\text{tabelado}}$, rejeita-se a hipótese H_0 , ou seja, houve diferença significativa nas áreas de café do ano de 2014, em relação a 2008, ao nível de 5% de probabilidade.

4. Conclusões

De posse dos resultados desta pesquisa pode-se concluir que:

- Com exceção da Microrregião de Uberaba, houve expansão da área de café em 2014, em relação a 2008.
- A maior expansão de área de café foi verificada no município de Ibiá.
- Não se observou o cultivo do café nas Microrregiões de Frutal e Ituiutaba.
- A Microrregião de Patrocínio é a que apresenta maior área de café na área de estudo. No entanto a maior expansão de área foi verificada no município de Ibiá, que pertence a Microrregião de Araxá.
- Imagens dos sensores TM e OLI dos satélites Landsat-5 e 8 mostraram-se eficazes para o mapeamento e o monitoramento dos cafezais na região de estudo nos dois anos analisados.
- A existência de imagens de alta resolução espacial recentes, contidas no sitio do Google Earth contribuiu muito no mapeamento das lavouras de café.
- A retração da área cafeeira na Microrregião de Uberaba esta relacionada a pouca expressividade da prática de cultivo e a opção desta região pelo cultivo de outras culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar e a atividade pecuária.

Referências Bibliográficas

- Adami, M.; Moreira, M.A.; Barros, M.A. **Confiabilidade do mapeamento**. In.: Moreira, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação, 4ª ed. Atual e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 422P, 2011.
- Adami, M.; Moreira, M.A.; Barros, M.A.; Martins, V. A.; Rudorff, B. F. T. Avaliação da exatidão do mapeamento da cultura do café no estado de Minas Gerais. In: **Anais: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1-8.
- Carneiro, P. A. S.; Fontes, M. P. F.; Fontes, R.; Ker, J.C. Transformações sócio-regionais decorrente da consolidação e modernização da cultura do café no cerrado mineiro. **Geografia**. Rio Claro: Unesp, v.30, n.3,set./dez.2005, p. 491-505.
- Fonseca, L.M.G. **Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR**. 1988. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 1988.
- Alemelo Junior, J. C. F.; Faria de, R. A.; Sedyama, G. C.; Ribiro, C. A. A. S.; Santos, F. A. A. Regionalização do cafeeiro e mudanças da composição agrícola do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, 2001, p.510-518.
- Moreira, M. A.; Adami, M.; Rudorff, B. F.T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.3, p.223-231, mar. 2004
- Moreira, M. A.; Barros, M. A.; Rosa, V. G. C.; Adami, M. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 27-37, 2007.
- Ortega, A. C.; Jesus, C. M. de. Território café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 49, n. 3, p.771-800, 2011.
- Prodemge – Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais. **Limite dos Municípios de Minas Gerais**. Escala 1:100.000, Belo Horizonte, 1998. Disponível em: [http:// www.geominas.mg.gov.br/](http://www.geominas.mg.gov.br/). Acesso em: 15 mar. 2007
- Rosa, R. Introdução **ao sensoriamento remoto**. 5 ed., Uberlândia: EDUFU, 2003, 228p.
- Saes, M. S. M.; Jayo, M. Cacer: coordenando ações para a valorização do café do cerrado. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL PENSA DE AGRIBUSINESS, 7., 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PENSA/ FIA/USP, 1997.
- Silva, J.M.; Reis, R.P. Custos de produção do café na região de Lavras – MG: estudo de casos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.6, p.1287-1294, 2001