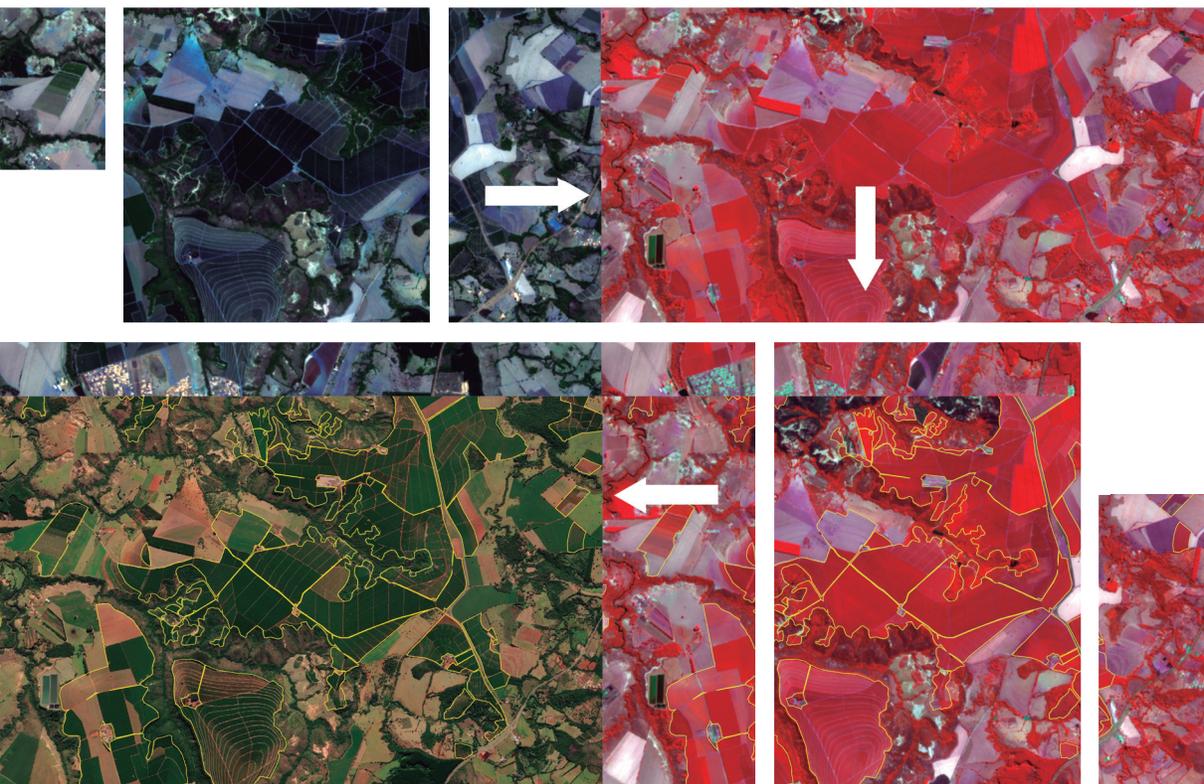


## Mapeamento automatizado de áreas de café em Minas Gerais



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Café  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

***Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais***

## **DOCUMENTOS 13**

# Mapeamento automatizado de áreas de café em Minas Gerais

*Helena Maria Ramos Alves  
Margarete Marin Lordelo Volpato  
Beatriz Fonseca Dominik Campos*

***Embrapa Café  
Brasília, DF  
2021***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Café**  
Parque Estação Biológica (PqEB)  
Av. W3 Norte (final), Ed. Sede  
CEP: 70770-901, Brasília, DF  
Fone: +55 (61) 3448-4378 / 4010  
Fax: +55 (61) 3448-1797  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Embrapa Café

Presidente  
*Lucas Tadeu Ferreira*

Vice-Presidente  
*Jamilsen de Freitas Santos*

Secretária-Executiva  
*Adriana Maria Silva Macedo*

Membros  
*Anísio José Diniz, Carlos Henrique Siqueira de Carvalho, Helena Maria Ramos Alves, Lucilene Maria de Andrade, Mauricio Sergio Zacarias, Milene Alves de Figueiredo Carvalho, Omar Cruz Rocha, Rogério Novais Teixeira, Roseane Pereira Villela.*

Revisão de texto  
*Francisca Elijani do Nascimento*

Normalização bibliográfica  
*Márcia Maria Pereira de Souza*

Tratamento das ilustrações  
*Thiago Farah Cavaton*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Thiago Farah Cavaton*

Foto da capa  
*Helena Maria Ramos Alves*

**1ª edição**  
Publicação digital (2021)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa, Secretaria-Geral

---

Alves, Helena Maria Ramos.

Mapeamento automatizado de áreas de café em Minas Gerais / Margarete Marin Lordelo Volpato, Beatriz Fonseca Dominik Campos. – Brasília, DF : Embrapa Café, 2021.

PDF (26 p.) – (Documentos / Embrapa Café, ISSN 1678-1694 ; 13).

1. Cafeicultura. 2. Sensoriamento remoto. I. Título. II. Série. III. Embrapa Café.

CDD (21. ed.) 630.5

---

*Márcia Maria Pereira de Souza* (CRB-1/1441)

© Embrapa, 2021

## Autores

### **Helena Maria Ramos Alves**

Engenheira-agrônoma, Ph.D. em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Café, Lavras, MG

### **Margarete Marin Lordelo Volpato**

Engenheira florestal, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), Lavras, MG

### **Beatriz Fonseca Dominik Campos**

Estudante de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Lavras (Ufla), estagiária do Laboratório de Geoprocessamento da Epamig, Lavras, MG



## Agradecimentos

Ao Consórcio Pesquisa Café e à Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig) pelo apoio financeiro.



## Apresentação

O Brasil é o maior produtor mundial de café com área estimada de 1,88 milhão de hectares (Conab, 2020). Esse imenso parque cafeeiro necessita ser monitorado constantemente para se conhecer a área de produção anual e, por meio dessa informação, estimar a safra. Entretanto, uma das maiores dificuldades para quantificar as áreas de café é a disponibilidade de métodos rápidos e precisos.

O conhecimento científico já demonstrou que o uso conjugado do sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica configura um conjunto essencial para determinar a distribuição geográfica do uso da terra, portanto, podendo constituir-se em uma poderosa ferramenta para estimar a safra agrícola. Contudo, para a determinação de áreas cafeeiras, esse conhecimento ainda não está plenamente desenvolvido.

O mapeamento de áreas cafeeiras geralmente é realizado por métodos de classificação visual, os quais consomem muito tempo, apesar de serem muito precisos. Estudos recentes utilizam novos métodos de classificação automática, baseados na segmentação de imagens.

Diante das perspectivas do uso conjunto de imagens do Sentinel-2A e classificação semiautomática, baseada na segmentação de imagens, a Embrapa Café, em parceria com a Epamig, disponibiliza esta publicação com os principais resultados da aplicação da metodologia, em municípios que possuem significativa área de café, trazendo informações relevantes para adoção e acessibilidade dessa tecnologia em todo segmento da cafeicultura.

*Antonio Fernando Guerra*  
Chefe-Geral da Embrapa Café



## Sumário

Introdução .....	11
Metodologia .....	12
Mapas temáticos dos municípios estudados .....	16
Considerações Finais .....	25
Referências .....	26



## Introdução

O café é um importante produto comercializado e consumido globalmente, logo, crucial para as economias de muitos países, inclusive para o Brasil, onde sua história e evolução se confundem com a própria história nacional. Todos os anos, os apreciadores de café consomem mais de 400 bilhões de xícaras, o que sustenta uma indústria global que vale mais de 100 bilhões de dólares (Goldschein, 2011; Illy, 2002; International Trade Center, 2011). Apesar de sua importância, ainda é insuficiente o conhecimento detalhado das áreas ocupadas pela cafeicultura, em razão das dificuldades específicas para a realização de mapeamentos precisos dessa cultura, em função da sua diversidade e complexidade.

O sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens são geotecnologias importantes para o conhecimento da distribuição espacial da cafeicultura no ambiente e a quantificação das áreas de produção. Essas tecnologias permitem que grandes áreas possam ser mapeadas e monitoradas, fornecendo informações sobre a dinâmica do uso da terra e as trajetórias da ocupação da cafeicultura nas diferentes regiões produtoras do País.

A história da utilização de imagens para observação da Terra é relativamente recente: remonta a pouco mais de 100 anos, mais precisamente após a invenção da máquina fotográfica. A expressão “sensoriamento remoto” popularizou-se a partir da década de 1960 com o lançamento do Sputnik, evento que deu início à Era Espacial. No início, o sensoriamento remoto e as demais geotecnologias disponíveis para o processamento das imagens criaram perspectivas que não podiam ser totalmente atendidas e, portanto, geraram muitas frustrações. Nas últimas décadas, entretanto, essas tecnologias têm evoluído rapidamente, com o constante lançamento de novos satélites, sensores e produtos, bem como com programas para o tratamento das informações, o que está propiciando o embarque definitivo da agricultura na Era Digital. Nesse contexto, é urgente a capitalização dos recentes avanços das geotecnologias para melhorar os métodos de mapeamento da cafeicultura, gerando resultados mais precisos e escalonáveis, os quais possam ser aplicados tanto no mapeamento da propriedade agrícola quanto no planejamento regional.

No ano de 2015, como parte do programa Europeu Copernicus, foram lançados os satélites Sentinel-2A, que vêm disponibilizando imagens gratuitas a cada 5 dias (European Space Agency, 2017). O satélite carrega o sensor Multi Spectral Instrument (MSI) com 13 bandas espectrais, sendo quatro bandas no visível com resolução espacial de 10 m. Ademais, diversas metodologias também têm sido disponibilizadas para o processamento e a classificação automática de imagens de satélite. Entre as mais recentes, estão as classificações orientadas a objetos geográficos (Geographic Object-Based Image Analysis – Geobia), que permitem a segmentação das imagens em objetos espaciais homogêneos, utilizando um modelo diferenciado em relação ao procedimento baseado apenas na informação do pixel (Hay; Castilla, 2008).

Este trabalho avaliou a utilização de imagens do satélite Sentinel-2A, em associação com a metodologia Geobia, para a obtenção de mapas de uso da terra com foco nas áreas ocupadas pela cafeicultura. Espera-se que a metodologia descrita neste documento possa ser utilizada para a produção de mapas temáticos gerados por classificação automatizada, os quais possibilitem o levantamento mais rápido, preciso e a custos mais baixos da cafeicultura brasileira, com vistas a fornecer subsídios necessários ao seu desenvolvimento sustentável.

## Metodologia

Para este estudo, foram selecionados municípios pertencentes às quatro macrorregiões produtoras de café de Minas Gerais, de acordo com o estabelecido pelo governo estadual e pelas instituições do setor (Rios, 1997; Barbosa, 2009; Conselho Nacional do Café, 2020; Minas Gerais, 2020). Estes municípios foram: Três Pontas, São Sebastião do Paraíso, Carmo de Minas e Oliveira, da região Sul de Minas; Patrocínio, da região Cerrado de Minas; Manhuaçu, da região Matas de Minas; e Capelinha, da região Chapadas de Minas.

Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2A, sensor MSI, com passagens no ano de 2016, obtidas no portal Earth Explorer. Para a classificação da imagem, utilizaram-se as bandas 2 (490 nm), 3 (560 nm), 4 (665 nm), 8 (842 nm) e NDVI, com 10 m de resolução espacial.

<sup>1</sup>Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov>

A missão Sentinel-2A é parte do Serviço de Monitoramento Terrestre Copernicus, que entrou em operação em 2012, com o objetivo de fornecer informações geográficas sobre a cobertura do solo e variáveis relacionadas, como o estado da vegetação ou o ciclo da água, e também oferecer suporte a aplicações em outros domínios, incluindo planejamento territorial, gestão florestal, gestão hídrica, agricultura e segurança alimentar. A missão é composta por dois satélites idênticos de imageamento multiespectral de alta resolução e ampla faixa de cobertura, que operam simultaneamente, em ângulo de 180°, em uma órbita sincronizada com o Sol, a uma altitude média de 786 km, com frequência de revisita de 5 dias no Equador. Cada um dos satélites Sentinel-2A carrega uma única carga útil: o Instrumento Multiespectral (MSI), que trabalha passivamente, coletando a luz solar refletida da Terra, com um campo de visão (FOV) de 290 km. Dentro do sensor, o feixe de luz de entrada é dividido em dois conjuntos separados de plano focal: um para as bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR) e outro para o infravermelho de ondas curtas (SWIR). A separação espectral de cada banda em comprimentos de onda individuais é realizada por filtros de faixa montados na parte superior dos detectores. O MSI coleta amostras de 13 bandas espectrais com diferentes resoluções espaciais: 4 bandas de 10 m, 6 bandas de 20 m e 3 bandas de 60 m. Com sua cobertura frequente e sistemática, o Sentinel-2A fará uma contribuição significativa para os serviços de monitoramento da terra, fornecendo dados para o mapeamento da cobertura da terra e sua dinâmica e a avaliação de parâmetros biogeofísicos, como cobertura foliar, índice de área foliar e conteúdo foliar de clorofila. O sistema de satélites Sentinel-2A foi desenvolvido por um consórcio industrial liderado pela Astrium GmbH (Alemanha). Já a Astrium SAS (França) é responsável pelo MSI.

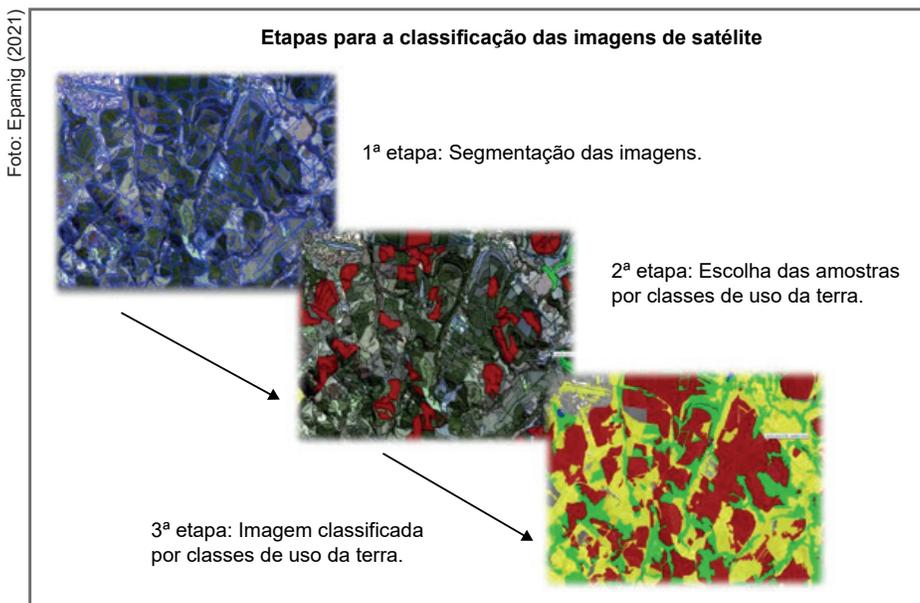
As etapas de pré-processamento e pós-processamento foram realizadas utilizando-se o software ArcGis. Os processos de segmentação e classificação das áreas estudadas foram realizados utilizando-se o software e-Cognition, utilizando

a metodologia de classificação automática orientada a objeto Geobia. Na etapa de segmentação, foram utilizados os parâmetros Shape (0,1), Compactness (0,5) e Scale (80–100), sendo este último definido para cada local: Três Pontas (escala = 85); São Sebastião do Paraíso (escala = 100); Carmo de Minas (escala = 100); Oliveira (escala = 80); Patrocínio (escala = 100); Manhuaçu (escala = 80); e Capelinha (escala = 80).

Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) é uma análise orientada a objeto de imagens de sensoriamento remoto da Terra. Mais especificamente, Geobia é uma subdisciplina da Ciência da Informação Geográfica (GIScience) dedicada ao desenvolvimento de métodos automatizados para segmentar imagens de sensoriamento remoto em imagens-objeto com significado e avaliar suas características através de escalas espaciais, espectrais e temporais, para gerar novas informações geográficas em formato GIS-ready. Como Geobia depende de dados de sensoriamento remoto (SR) e gera saída pronta para Sistemas de Informações Geográficas (SIG), representa uma “ponte” entre o domínio raster do SR e o domínio predominantemente vetorial do SIG. A “ponte” que liga os dois lados desses domínios é a geração de polígonos (ou seja, imagens-objeto classificados) que representam objetos geográficos. Em seu nível mais fundamental, Geobia requer segmentação, atribuição, classificação de imagens e capacidade de consultar e vincular objetos individuais no espaço e no tempo. Para isso, Geobia incorpora conhecimentos e métodos de uma vasta gama de disciplinas envolvidas na geração e uso de informação geográfica (Hay; Castilla, 2008).

As classes consideradas no mapeamento de uso e ocupação da terra foram: “água”, “área urbana”, “café”, “vegetação natural” e “outros usos”. Na classe “outros usos”, foram englobadas as classes “solo exposto”, “pastagens” e “outras culturas agrícolas”. Para o município de Capelinha, considerou-se ainda a classe “reflorestamento”.

Para etapa de classificação semiautomática, foram coletadas amostras aleatórias e distribuídas nas áreas de estudo. O classificador escolhido foi k-nearest neighbours (KNN). A Figura 1 ilustra o processo de segmentação, as escolhas de amostras na imagem e a classificação.

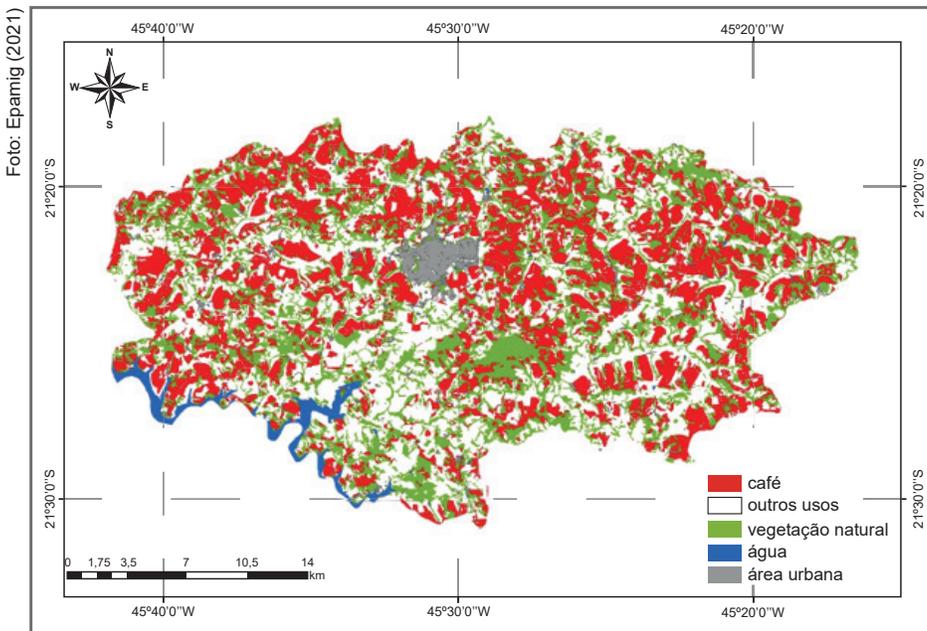


**Figura 1.** Processo de segmentação, escolha de amostras na imagem e classificação das imagens de satélite.

Após a classificação, foi realizada uma avaliação da acurácia dos mapeamentos. Para tanto, conjuntos de pontos dos mapas gerados pela classificação automática foram comparados com novos conjuntos de pontos de referência. Os pontos de referência foram coletados e fornecidos pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater-MG), por meio de coletas de dados no campo com auxílio de um GPS de navegação e com o auxílio de imagens do Google Earth quando necessário.

## Mapas temáticos dos municípios estudados

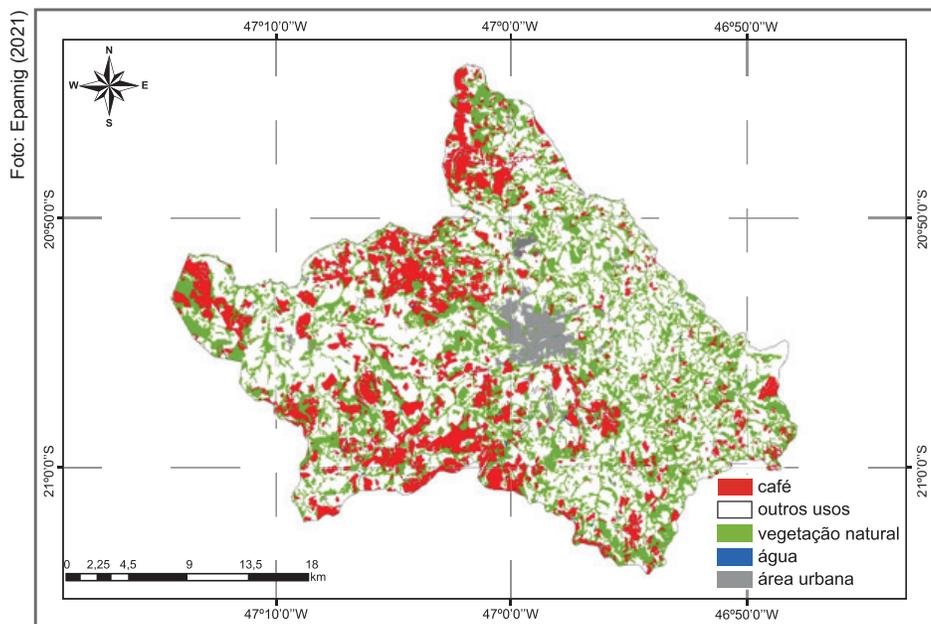
Nas Figuras 2 a 8, são apresentados os mapas de uso da terra gerados pela aplicação da metodologia descrita neste trabalho. Os dados quantitativos referentes aos mapeamentos gerados são apresentados nas Tabelas 1 a 7, e a acurácia dos mapeamentos é apresentada na Tabela 8.



**Figura 2.** Mapa temático do município de Três Pontas, MG, resultante da classificação automática por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 26 de julho de 2016.

**Tabela 1.** Distribuição quantitativa do uso/ocupação da terra no município de Três Pontas, MG, resultante da classificação automática por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 26 de julho de 2016.

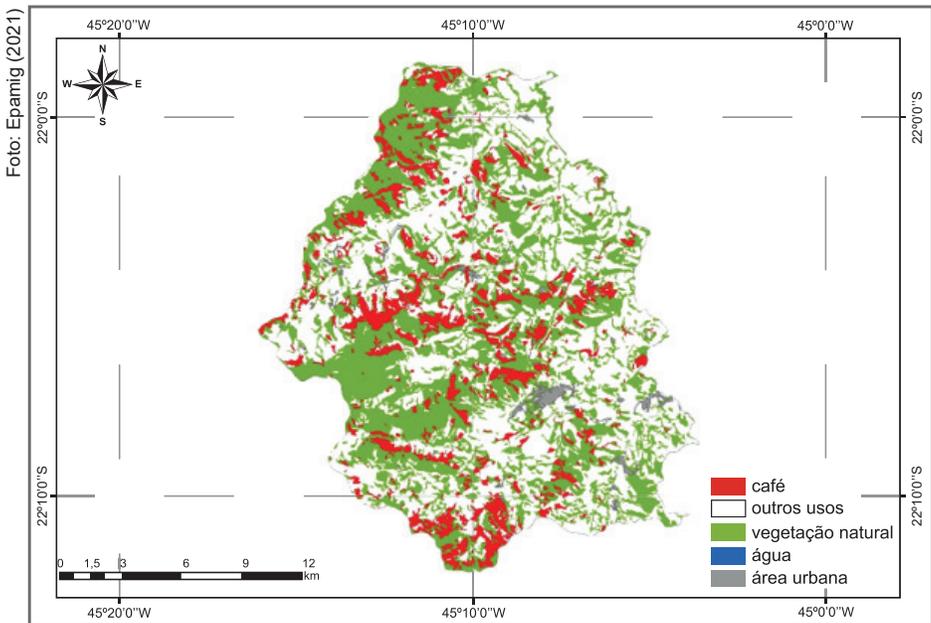
Classe de uso/ocupação da terra	Área (ha)
Água	1.143
Área Urbana	1.411
Café	21.876
Outros usos	26.025
Vegetação Natural	18.455



**Figura 3.** Mapa temático do município de São Sebastião do Paraíso, MG, resultante da classificação automática por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 17 de setembro de 2016.

**Tabela 2.** Distribuição quantitativa do uso da terra no município de São Sebastião do Paraíso, MG, resultante da classificação automática por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 17 de setembro de 2016.

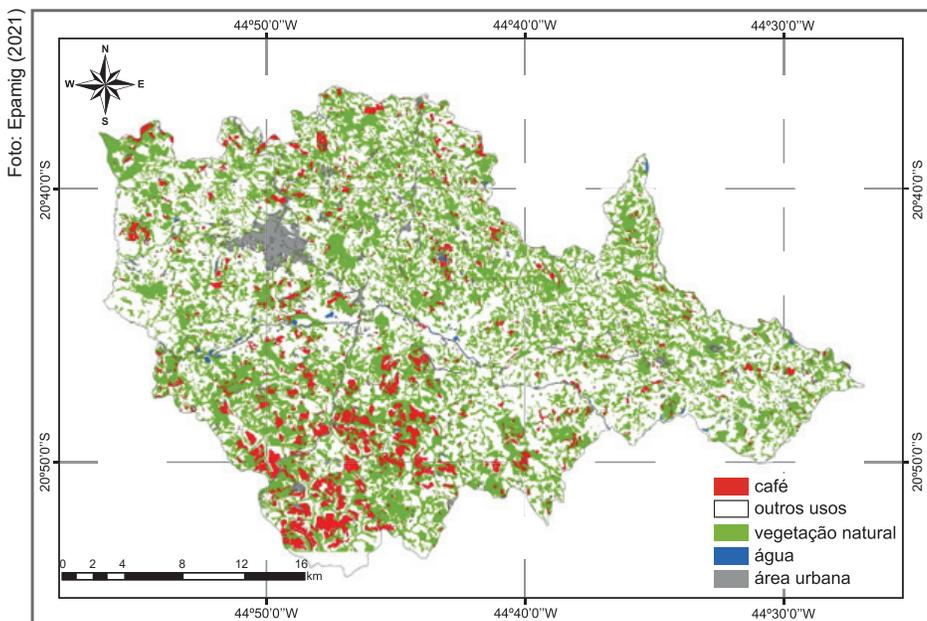
Classe de uso/ocupação da terra	Área (ha)
Água	115
Área Urbana	2.284
Café	13.467
Outros usos	41.769
Vegetação Natural	23.850



**Figura 4.** Mapa temático do município de Carmo de Minas, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 26 de julho de 2016.

**Tabela 3.** Distribuição quantitativa do uso da terra no município de Carmo de Minas, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 26 de julho de 2016.

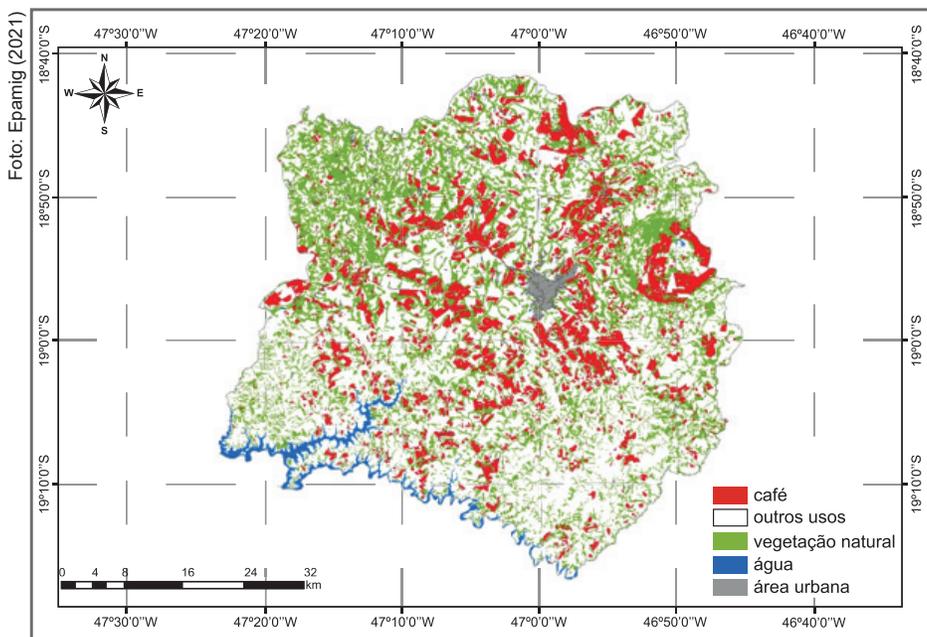
Classe de uso/ocupação da terra	Área (ha)
Água	0
Área Urbana	365
Café	3.886
Outros usos	15.146
Vegetação Natural	12.789



**Figura 5.** Mapa temático do município de Oliveira, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 26 de julho de 2016.

**Tabela 4.** Distribuição quantitativa do uso da terra no município de Oliveira, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 26 de julho de 2016.

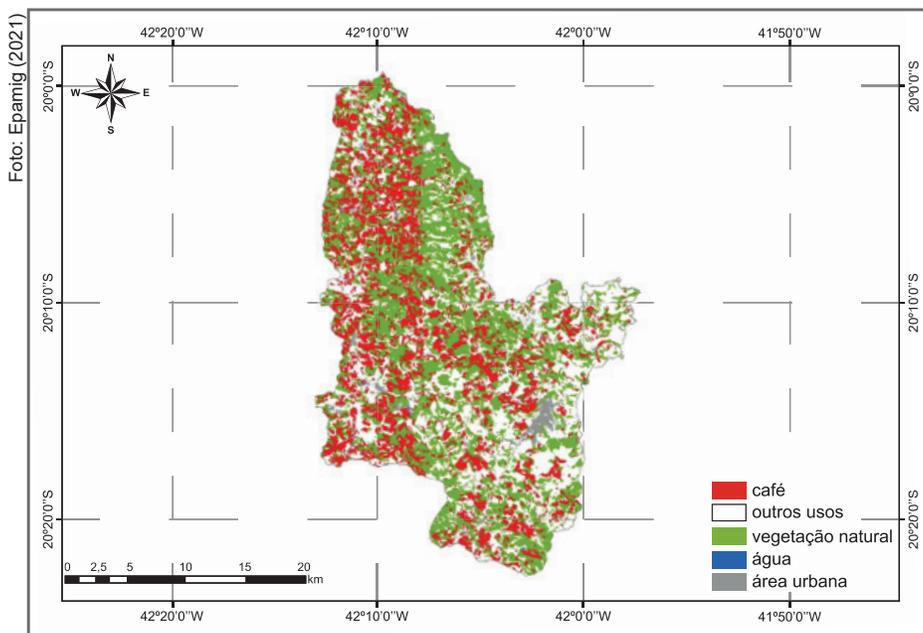
Classe de uso/ocupação da terra	Área (ha)
Água	364
Área Urbana	1.868
Café	5.218
Outros usos	47.539
Vegetação Natural	34.166



**Figura 6.** Mapa temático do município de Patrocínio, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobias) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 7 de outubro de 2016.

**Tabela 5.** Distribuição quantitativa do uso da terra no município de Patrocínio, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobias) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 7 de outubro de 2016.

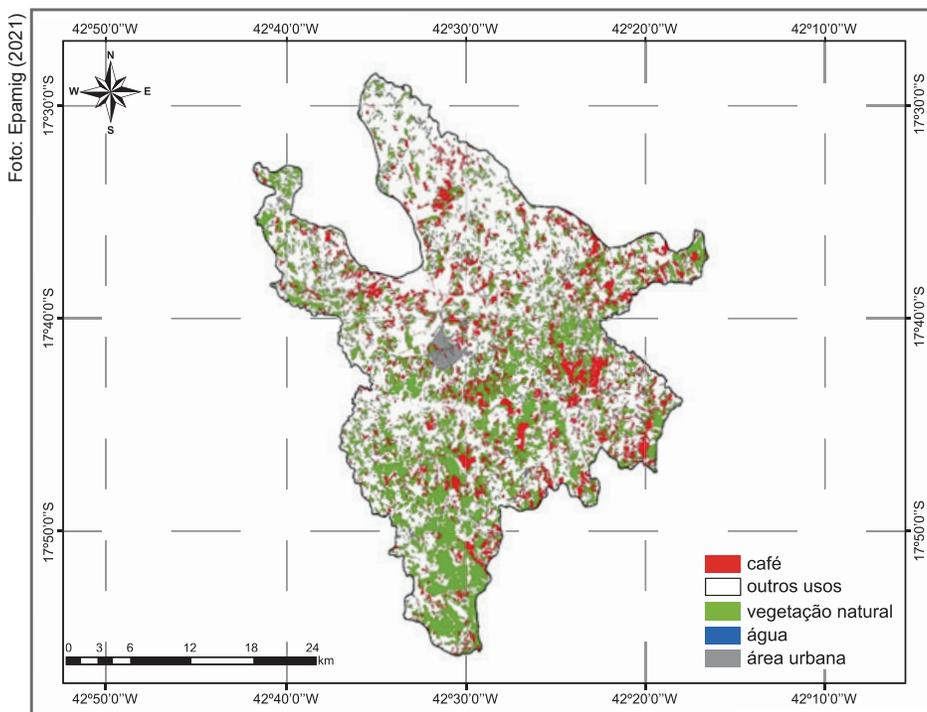
Classe de uso/ocupação da terra	Área (ha)
Água	4.846
Área Urbana	3.351
Café	40.831
Outros usos	183.502
Vegetação Natural	54.659



**Figura 7.** Mapa temático do município de Manhuaçu, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobias) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 2 de agosto de 2016.

**Tabela 6.** Distribuição quantitativa do uso da terra no município de Manhuaçu, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobias) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 2 de agosto de 2016.

Classe de uso/ocupação da terra	Área (ha)
Água	50
Área Urbana	1.724
Café	18.297
Outros usos	18.405
Vegetação Natural	24.271



**Figura 8.** Mapa temático do município de Capelinha, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 11 de setembro de 2016.

**Tabela 7.** Distribuição quantitativa do uso da terra no município de Capelinha, MG, resultante da classificação por Geographic Object-Based Image Analysis (Geobia) de imagem do satélite Sentinel-2A, em 11 de setembro de 2016.

Classe de uso/ocupação da terra	Área (ha)
Água	361
Área Urbana	2.259
Café	11.970
Outros usos	46.797
Vegetação Natural	34.968

Os mapas temáticos apresentados nas Figuras 2 a 8 mostram a distribuição espacial das áreas ocupadas pelo café e evidenciam as diferenças entre os municípios analisados. Todos esses municípios pertencem a importantes regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais, mas cada um deles possui características próprias e estabelece relações diferentes com o ambiente regional, corroborando para a diversidade e a complexidade da cafeicultura mineira.

A Tabela 8 apresenta o resultado dos métodos de concordância estatística da classificação automática e amostras de referência coletadas no campo, pelo índice Kappa, exatidão global e exatidão para a classe café. A matriz de confusão é a forma de representação da qualidade obtida de uma classificação digital de imagem, sendo expressa por meio da correlação dos dados de referência (compreendidos como verdadeiros) com os dados classificados. O coeficiente Kappa é uma das variáveis que podem ser quantificadas após a construção da matriz de confusão, sendo um índice que retrata o grau de concordância dos dados, gerando, assim, um aspecto de confiabilidade e precisão dos dados classificados. Vários outros índices podem ser utilizados, entre eles o Global e, dependendo do interesse, essa avaliação pode ser aplicada para a classe de uso/ocupação que se queira avaliar especificamente.

Observa-se que houve uma alta concordância estatística da classificação por Geobias de imagem do satélite Sentinel-2A e as amostras de referência de campo, com acurácias que podem ser consideradas entre muito boas a excelentes (Fonseca, 2000).

**Tabela 8.** Resultados da avaliação de acurácia da classificação automatizada do uso da terra em municípios do estado de Minas Gerais.

Município	Métodos de concordância		
	Kappa (%)	Exatidão Global (%)	Exatidão Café (%)
Três Pontas	92	95	95
São Sebastião do Paraíso	95	97	81
Carmo de Minas	94	97	75
Oliveira	95	97	86
Patrocínio	98	98	100
Manhuaçu	87	92	87
Capelinha	87	90	78

Dentre as principais dificuldades no mapeamento automático de áreas cafeeiras por meio de imagens orbitais, podem-se destacar: a semelhança no comportamento espectral do café com outras fisionomias (Cordero-Sancho; Sader, 2007; Vieira et al., 2007); a variação dos tratos culturais e do manejo da cultura em função de fatores da planta (sanidade, estado nutritivo e variedade); e o sombreamento proporcionado por seu cultivo em áreas montanhosas (Vieira et al., 2007). As dificuldades em classificar automaticamente áreas cafeeiras têm sido relatadas por vários autores, que reportaram baixas exatidões dos mapeamentos, com muitos erros de inclusão e omissão (Cordero-Sancho; Sader, 2007; Andrade et al., 2013; Girolamo Neto et al., 2015). Em áreas de relevo suavizado, com sistemas de produção mais homogêneos e lavouras que se distribuem por grandes extensões, como a cafeicultura encontrada no Cerrado Mineiro, o mapeamento de áreas cafeeiras poderia ser realizado exclusivamente com dados orbitais (Lelong; Chane, 2003). No entanto, Moreira et al. (2008) recomendaram que, em áreas montanhosas ou com mistura de culturas, os mapeamentos sejam realizados por meio de abordagem visual. Segundo os autores, a partir do mapeamento realizado com imagens de alta resolução, interpretação visual e conferência de campo, é possível obter mapas temáticos precisos e confiáveis. Resultados de trabalhos anteriores (Bernardes, 2006; Vieira et al., 2007; Moreira et al., 2008; Andrade et al., 2013; Marujo et al., 2017) para mapeamento automatizado do uso da terra em áreas cafeeiras apresentaram índice Kappa entre 40% e 80% para áreas mais montanhosas e mais planas, respectivamente. Hunt et al. (2020), por sua vez, realizaram uma revisão sistemática da utilização de imagens de satélite para o mapeamento do café. Os autores não identificaram nenhum método de rotina que produzisse resultados consistentemente precisos e concluíram que a recomendação de um método específico ainda constitui um desafio. Os autores, no entanto, salientam pontos-chave para definir abordagens eficazes, com foco na necessidade de equilibrar a acessibilidade e a qualidade dos dados, a complexidade e a precisão da classificação e a generalização e as especificidades locais e também salientam as novas oportunidades abertas para a pesquisa pela recente expansão de sensores e constelações de satélites, fusão de dados óticos/radar de abertura sintética, avanços da computação em nuvem e algoritmos de aprendizado.

## Considerações finais

O mapeamento de rotina dos sistemas cafeeiros continua sendo uma necessidade crítica para entender a dinâmica do café na paisagem e, assim, desenvolver planejamentos que garantam que o café seja uma cultura produzida de forma sustentável.

Até o momento, mapeamentos baseados apenas em imagens de satélite se mostravam menos precisos, e, então, havia necessidade da conferência em campo para um mapeamento de qualidade. Contudo, com os avanços recentes dos produtos de sensoriamento remoto associados às novas metodologias para o processamento digital das imagens, abrem-se novas perspectivas para o mapeamento de áreas cafeeiras, que ainda precisam ser estudadas e validadas.

Imagens Sentinel-2A apresentam nitidez e alta qualidade da informação espectral. A metodologia Geobia para classificação da imagem foi satisfatória e confiável permitindo a produção automatizada de mapas de uso da terra nas áreas estudadas com ótima acurácia e exatidão. Pesquisas futuras, entretanto, precisam continuar a explorar a crescente disponibilidade de dados e métodos para possibilitar os mapeamentos do café em larga escala, contribuindo com esforços em direção à sustentabilidade de todo o setor cafeeiro.

## Referências

ANDRADE, L. N.; VIEIRA, T. G. C.; LACERDA, W. S.; VOLPATO, M. M. L.; DAVIS JUNIOR, C. A. Aplicação de redes neurais artificiais na classificação de áreas cafeeiras em Machado-MG. **Coffee Science**, v. 8, n. 1, p. 78-90, jan./mar. 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/235708614.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

BARBOSA, J. N. **Distribuição espacial de cafés do estado de Minas Gerais e sua relação com a qualidade**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do complexo Serra Negra por meio de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ. **História**. Disponível em: <http://www.cncafe.com.br/conteudo.asp?id=2>. Acesso em: 13 ago. 2020.

CORDERO-SANCHO, S.; SADER, S. A. Spectral analysis and classification accuracy of coffee crops using Landsat and a topographic-environmental model. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 7, p. 1577-1593, Jan. 2007. DOI: 10.1080/01431160600887680.

EPAMIG. Disponível em: <http://www.epamig.br/mapa-productivo-epamig/>. Acesso em: 16 jun. 2021.

EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. **Sentinel-2 delivers first images**. Disponível em: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Sentinel-2\\_delivers\\_first\\_images](http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Sentinel-2_delivers_first_images). Acesso em: 28 set. 2017.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. São José do Campos: Inpe, 2000. 105 p.

GIROLAMO NETO, C. D.; FONSECA, L. M. G.; KORTING, T. S.; SANCHES, I. D. A.; EBERHARDT, I. D. R.; BENDINI, H. N.; MARUJO, R. F. B.; TRABAQUINI, K. Classificação automática de áreas cafeeiras utilizando imagens de sensoriamento remoto e técnicas de mineração de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: Inpe, 2015. p. 1609-1616.

GOLDSCHHEIN, E. **11 incredible facts about the global coffee industry**. 2011. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/facts-about-the-coffee-industry-2011-11>. Acesso em: 13 ago. 2020.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. (ed.). **Object based image analysis**. New York: Springer, 2008, p. 93-112. DOI: [g/10.1007/978-3-540-77058-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9_4).

HUNT, D. A.; TABOR, K.; HEWSON, J. H.; WOOD, M. A.; REYMONDIN, L.; KOENIG, K.; SCHMITT-HARSH, M.; FOLLETT, F. Review of Remote Sensing Methods to Map Coffee Production Systems. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 2041, June 2020. DOI: [10.3390/rs12122041](https://doi.org/10.3390/rs12122041).

ILLY, E. The complexity of coffee. **Scientific American**, v. 286, n. 6, p. 86-91, June 2002.

INTERNATIONAL TRADE CENTRE. **The Coffee Exporter's Guide**. 3rd edition. Geneva, 2011.

LELONG, C. C. D.; CHANE, T. Application of textural analysis on very high-resolution panchromatic images to map coffee orchards in Uganda. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2003, Toulouse. **Proceedings** [...]. Toulouse, 2003. v. 2, p. 1007-1009.

MARUJO, R. F. B.; ALVES, M. M.; VOLPATO, M. M. L.; ALVES, H. M. R. Mapeamento da cultura cafeeira por meio de classificação automática utilizando atributos espectrais, texturais e fator de iluminação. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 164-175, abr./jun. 2017.

MINAS GERAIS (Estado). **Portaria nº 165, de 27 de abril de 1995**. Delimita regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais para a Instituição do Certificado de Origem. Disponível em: <http://www.ima.gov.br>. Acesso em: 13 ago. 2020.

MOREIRA, M. A.; BARROS, M. M.; RIDORFF, B. F. T. Geotecnologias no mapeamento da cultura do café em escala municipal. **Sociedade e Natureza**, v. 20, n. 1, p. 101-110, Jun. 2008. DOI: 10.1590/S1982-45132008000100007.

RIOS, J. N. G. Certificado de origem e qualidade do café. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 187 p. 69-72, 1997.

VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; BERTOLDO, M. A.; SOUZA, V. C. O. de Geotechnologies in the assessment of land use changes in coffee regions of the state of Minas Gerais in Brazil. **Coffee Science**, v. 2, n. 2, p. 142-149, 2007.



**Embrapa**

---

**Café**



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



CGPE 016932