



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DETECÇÃO DE POSSÍVEIS ÁREAS DE MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DO CAFÉ EM MACHADO MINAS GERAIS.

SER 300 – INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO

Alexsandro Cândido de Oliveira Silva

São José dos Campos - SP

Junho, 2013

1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca no cenário internacional como país líder na produção e exportação de café. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), para o ano de 2013, estima-se uma produção entre 47 e 50 milhões de sacas. Dentre os estados produtores, Minas Gerais detém aproximadamente 50% de toda produção. A porcentagem restante é distribuída entre os estados Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Rondônia e Goiás, (CONAB, 2013). A cafeicultura mineira se concentra principalmente na região sul do estado. Diversos fatores como aptidão de clima e solo, qualificação de mão-de-obra, sistemas de produção variados, favorecem a região na competitividade da cafeicultura.

A mecanização da colheita do café é uma oportunidade para o Brasil continuar em destaque na produção mundial, competindo em custo e qualidade em toda cadeia de produção. Com colhedoras automotrizes, a colheita do produto é mais eficiente, com menor custo operacional e menor fluxo de mão de obra. Dependendo da região onde está localizada a lavoura, os custos de produção podem ter redução de 40%. Conforme Royo e Gonçalves (2011), a mecanização mantém um padrão de colheita que faz com que seja uniforme e evite prejuízos.

Segundo Nogueira (2013), o que se percebe é uma grande tendência dos trabalhadores em empregarem-se em indústrias e comércios e abandonarem a agricultura. A escassez desta mão-de-obra é o que tem a tornada mais cara. Apesar dos benefícios da mecanização, ao atingir a fase de colheita, fase esta que demanda maior número de mão-de-obra na cultura cafeeira, tem influenciado negativamente no nível de pessoal ocupado. De acordo com Ferreira e Ortega (2004), a intensificação da mecanização afeta não só os trabalhadores temporários como os agricultores familiares o que tende a forçar o movimento migratório rural-urbano.

Aqueles agricultores familiares que insistem em permanecer no campo e têm melhores condições econômicas, acabam por se organizarem para dividir o uso dos equipamentos. Segundo Royo e Gonçalves (2011), o aluguel de máquinas é comum e permite os agricultores utilizarem a mecanização sem precisarem pagar um alto preço pela mesma.

Mas para se adotar tecnologias modernas nas colheitas das safras cafeeiras necessita-se de adequação da lavoura quanto a alguns fatores como o espaçamento entre os corredores para deslocamento do maquinário e, principalmente, quanto à declividade devido à sua estreita associação com processos gravitacionais.

O processo de cultivo e colheita do café só pode ser mecanizado em áreas que sejam planas ou com declividade mínima do terreno. Basicamente, recomenda-se que o terreno apresente declividade abaixo de 15° para utilização da colhedora na plantação de café. Terrenos com um declive superior a isto a colheita só pode ser semi-mecanizada e em casos extremos apenas pela mão-de-obra.

Posto isso, o presente trabalho visa identificar possíveis áreas de mecanização da colheita do café utilizando técnicas de geoprocessamento na região de Machado localizada no Sul de Minas Gerais. Este município tem grande destaque na produção cafeeira, e se localiza em um terreno acidentado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Área de Estudo

A área de estudo escolhida foi a região em torno da cidade de Machado (Figura 1) que está dentre as maiores produtoras de café do Sul de Minas Gerais e tem o cultivo deste grão como a principal atividade econômica. Esta região possui um relevo acidentado que varia de suave ondulado a forte ondulado e possui áreas elevadas com altitudes de 780 a 1260 metros, (ANDRADE, 2011; ANDRADE et al., 2013; VIEIRA et al., 2003). O limite da área de estudo foi obtido através do banco de dados da Divisão de Processamento de Imagens – DPI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, (DPI/INPE, 2013).

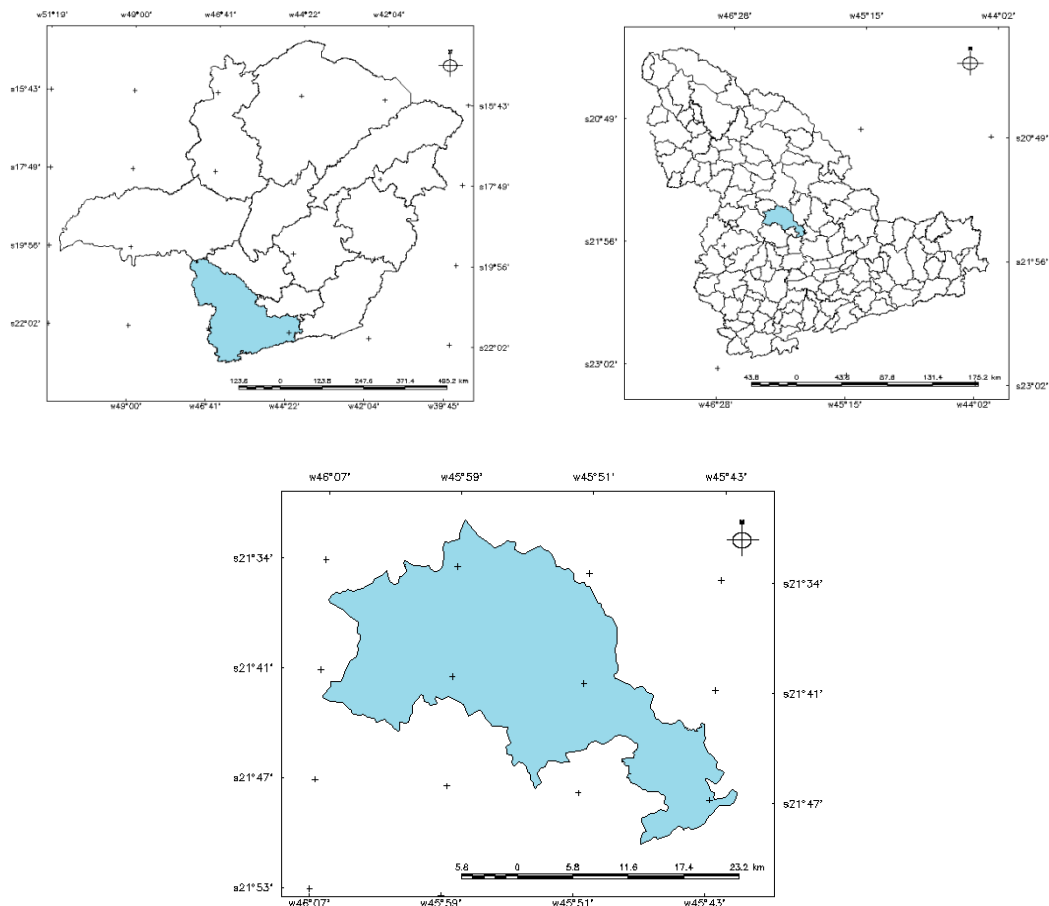


Figura 1: Localização da área de estudo.

2.2 Modelos Digitais de Elevação

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) podem não considerar a irregularidade topográfica da distribuição dos fenômenos no espaço. Assim, torna-se necessário a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), (MICELI et al., 2011).

Um MDE fornece informações espaciais importantes para modelar a superfície do terreno e pode ser obtido a partir da digitalização de dados topográficos coletados em campo, por métodos de estereoscopia orbital ou interferometria por radar. A coleta de dados em campo pode não ser precisa, sujeita a erros e à não coleta de dados significativos. A estereoscopia e a interferometria são técnicas mais eficientes para gerar bases topográficas padronizadas, cobrindo áreas extensas em um menor tempo.

A estereoscopia orbital baseia-se na comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área. Consiste na extração de informações de duas imagens de um mesmo local, adquiridas em ângulos diferentes de imageamento. Já a interferometria por radar representa uma técnica de imageamento ativo, em que o radar emite o sinal através de uma antena e registra o retroespalhamento do sinal por duas antenas situadas a uma distancia conhecida. Neste caso o MDE baseia-se na relação entre as características dos sinais captados pelas antenas. A interferometria é mais precisa, pois utiliza medidas de frações do comprimento de onda, enquanto que a estereoscopia utiliza medidas de células de resolução espacial, (LANDAU e GUIMARÃES, 2011; PARADELLA et al., 2001; PARADELLA et al., 2005). Os MDEs ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) e SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) são exemplos de produtos obtidos através de diferentes técnicas de sensoriamento remoto.

O ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) é um consórcio para gerar modelos digitais do globo. O sensor ASTER, abordo do satélite Terra, é capaz de adquirir dados estereoscópicos para quase todo o globo terrestre. O sistema conta com dois telescópios que geram imagens de diferentes visadas, um no nadir e outro em direção oposta ao deslocamento do satélite. Isto possibilita a constituição de um par estereoscópico das bandas, (LANDAU e GUIMARÃES, 2011). Como o intervalo de tempo de aquisição das imagens é curto, não se nota diferenças radiométricas, isto não ocorre quando os pares estereoscópicos são obtidos através de órbitas adjacentes. O que pode acontecer é ter a presença de nuvens e gerar uma falha de informações. A América do Sul os dados são disponibilizados na resolução espacial de aproximadamente 30 metros.

A missão SRTM é um projeto liderado pela NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) e pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e gerou um modelo digital de elevação de grande parte do globo terrestre através da interferometria, isto é, sensoriamento remoto operante na faixa de micro-ondas. Os dados referentes à América do Sul foram disponibilizados na resolução espacial aproximada de 90 metros.

Além do MDE diretamente resultando da missão SRTM, existem MDEs derivados do mesmo, como é o caso do projeto TOPODATA do INPE, (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010; VALERIANO, 2008). Os dados do TOPODATA foram

gerados através de processamentos digitais do MDE do SRTM. Estes passaram por um refinamento das células que passaram a ter uma resolução espacial de aproximadamente 30 metros. Este processo foi realizado a partir de interpolação dos dados pelo método de *krigagem* embasado na análise geoestatística.

2.3 Declividade do Terreno

Para se determinar a declividade é necessário ampliar a observação para permitir a comparação dos desníveis em torno do ponto de interesse. De maneira simples, pode-se definir declividade como a relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre estes pontos. Mais especificamente, a declividade é a relação entre o desnível e a distância correspondente. “Analisa-se o diferencial da altimetria naquele intervalo de derivação”, (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010).

A estimativa de declividade se baseia na proporção entre desníveis e suas respectivas distâncias horizontais, sendo expressas em graus (0° a 90°) ou em porcentagens (0% a infinito).

É esperado que a descrição do terreno, declividade, aspecto, em geral modelos digitais de elevação sejam mais dependentes de descritores baseados na interferometria que na estereoscopia. Segundo Paradella et al. (2001), MDEs gerados por interferometria têm maior correlação com a declividade, mas não tanto com o aspecto. Além disto, esta correlação depende da geometria em estéreo utilizada.

2.4 Mecanização da colheita

Conforme anteriormente mencionado, a falta de mão-de-obra, tempo e custo operacional é um fator limitante da colheita manual, sendo esta fase vista pelos produtores como um ponto de estrangulamento na exploração da cultura, (SILVA et al., 2000, 2001). A possibilidade da colheita totalmente mecanizada pode ser realizada com a passagem da colhedora mais de uma vez na lavoura, além da varrição e recolhimento do café caído no chão também mecanicamente. Entretanto, nunca se alcançará uma coleta de 100% do grão, (SILVA et al., 2000, 2001).

Os métodos convencionais de mecanização somente são passíveis de aplicação em terrenos com declividade de até 15°. Isto associado a outras limitações de ordem operacional e econômica mostra que a mecanização depende do complemento braçal, além de que a máquina dificilmente colherá todos os frutos da planta. Além disto, as máquinas necessitam de operadores qualificados, assistência técnica, ou seja, mão-de-obra especializada. Considerando-se a eficiência da mecanização, pode-se dizer que com uma máquina tem-se, em média, o trabalho equivalente de 200 homens. Essa avaliação permite comparar a capacidade produtiva, (SILVA et al., 2000).

Existem diversas máquinas destinadas à colheita do café. Entretanto, devido ao seu grande porte, uma leve declinação do terreno pode mudar seu centro de gravidade e leva-la ao tombamento, causando acidentes. Algumas máquinas conseguem operar em terrenos com declividade próxima a 10° ou 12°.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, tentou-se identificar possíveis áreas de mecanização do processo de colheita do café através de técnicas de geoprocessamento. Toda a análise e tratamento dos dados foram realizados no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) desenvolvido no INPE, (CÂMARA et al., 1996). Abaixo é apresentado o diagrama OMT-G (Figura 2) do método realizado.

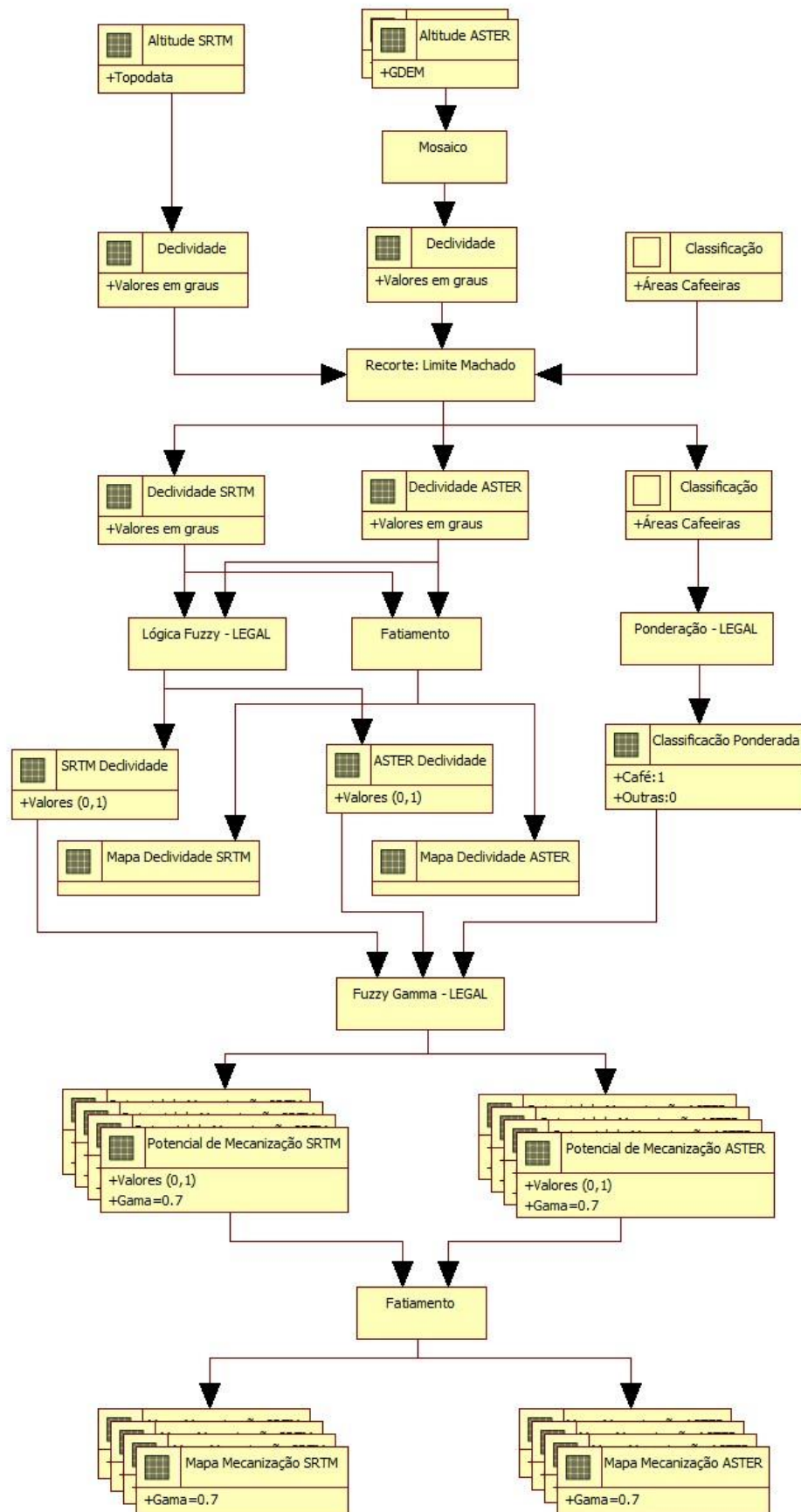


Figura 2: Diagrama OMT-G.

Para a realização deste trabalho, optou-se em utilizar dois modelos digitais de elevação do terreno: ASTER GDEM e SRTM TOPODATA. As técnicas de geoprocessamento seriam aplicadas em ambos. Apesar de o projeto TOPODATA já oferecer grades de Declividade, (VALERIANO, 2008), foram utilizados os dados de Altimetria do mesmo para se manter o paralelismo nas atividades, já que os dados fornecidos pelo ASTER GDEM são de Altimetria.

A área sob estudo localizava-se em sua totalidade dentro da cena SRTM. O mesmo não ocorreu com a cena obtida através do ASTER GDEM. Foram necessárias duas cenas para abranger toda a área, logo após, fez-se o mosaico destas cenas ASTER e obteve-se a grade de declividade do terreno de toda a área abrangida pelas cenas SRTM e ASTER.

Como o foco do estudo foi apenas na região do município de Machado, fez-se um recorte nas grades de declividade e no temático de classificação das áreas cafeeiras utilizando como limite municipal. E posse do recorte da área de estudo as grades de declividade foram fatiadas como pode-se observar nas Figuras 3 e 4.

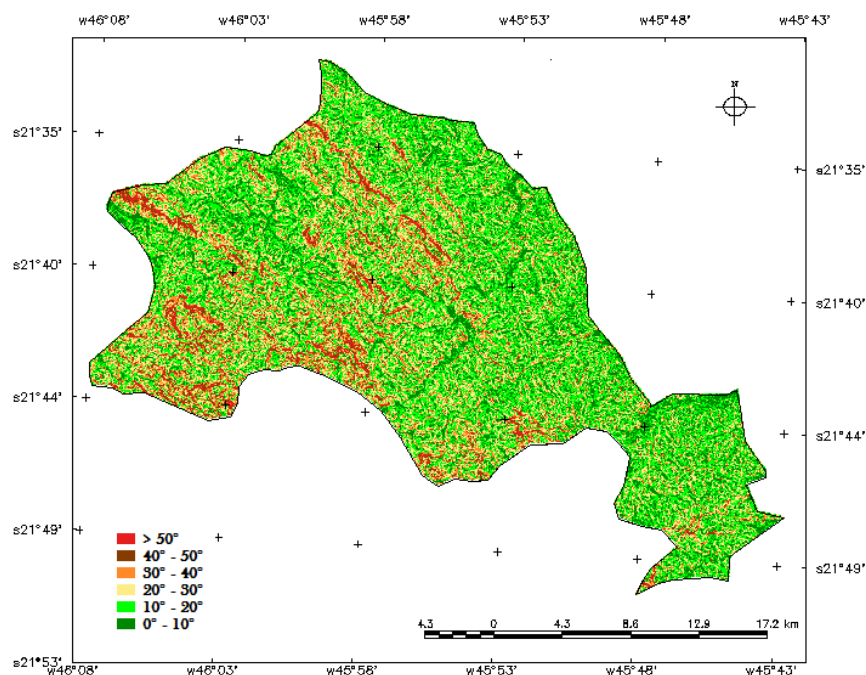


Figura 3: Mapa de declividade de Machado – MG. (Grade ASTER)

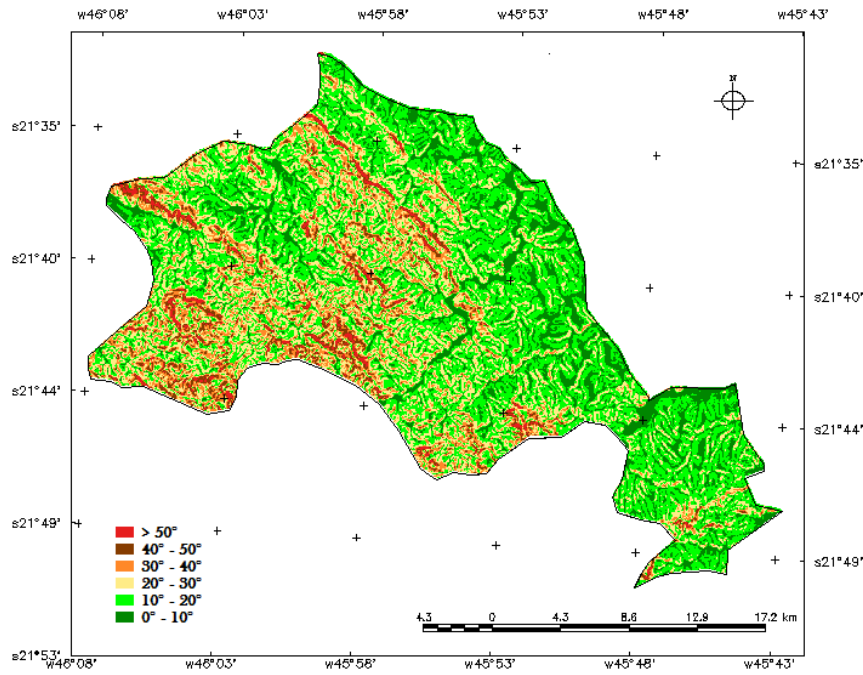


Figura 4: Mapa de declividade de Machado – MG. (Grade SRTM)

Como não há um limiar rígido para potencializar a mecanização da colheita do café quanto à declividade, um modelo baseado em conhecimento bastante útil é a Lógica *Fuzzy*, (MOREIRA et al., 2001), que foi implementada na Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico – LEGAL. Assim, as grades de declividade foram convertidas para valores que variam entre 0 e 1, obtendo-se um mapa de declividade ponderado de acordo com o potencial de mecanização através da grade do MDE ASTER e um através da grade do MDE SRTM, (Figuras 5 e 6, respectivamente).

Os valores z de cada célula foram definidos de acordo com a função senoidal definida por:

$$f(z) = \frac{1}{1 + a(z - c)^2}$$

Onde a define a forma da função e c é o ponto central (15°).

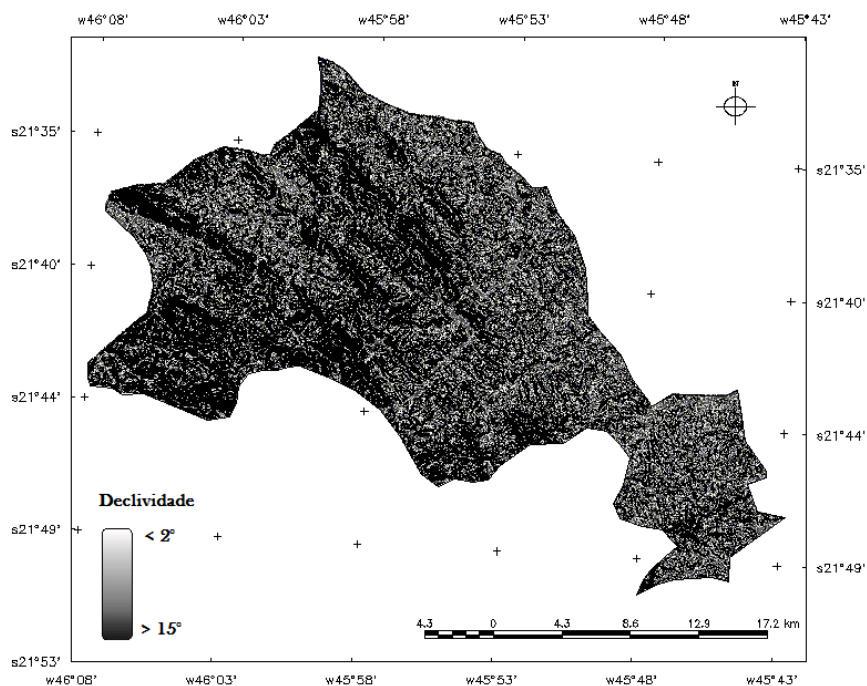


Figura 5: Mapa de declividade ponderado para potencial mecanização. (Grade ASTER)

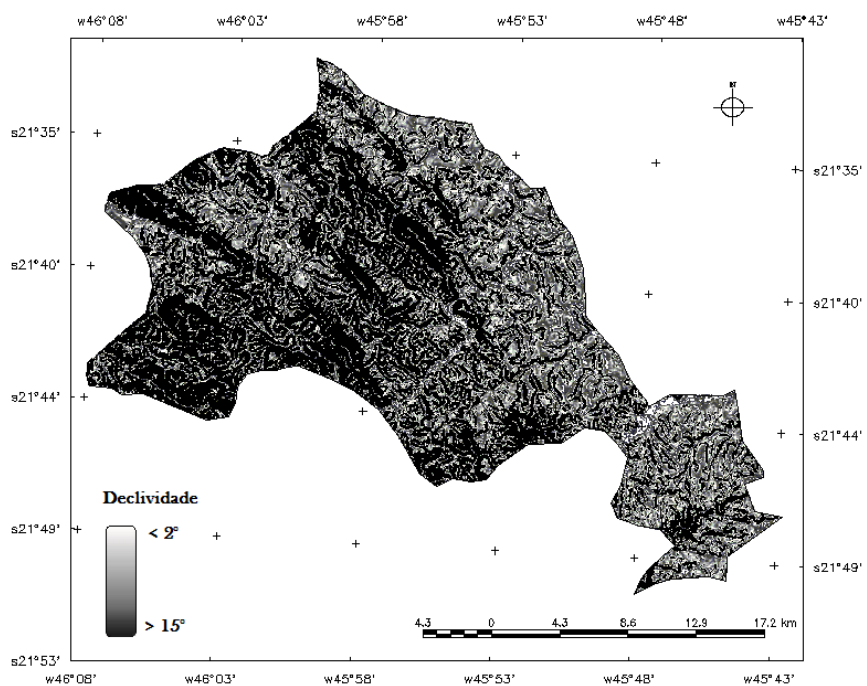


Figura 6: Mapa de declividade ponderado para potencial Mecanização. (Grade SRTM)

O próximo passo foi ponderar as classes de uso da terra do mapa temático. Neste mapa tinham classificadas regiões como Cidade, Cana, Café Podado, Água, Outros e Café. Esta última se refere ao café em produção (Figura 7). Como esta é a classe de interesse no estudo, ela foi ponderada para valor 1 e as demais para valor 0, por meio de linhas de comando na linguagem LEGAL.

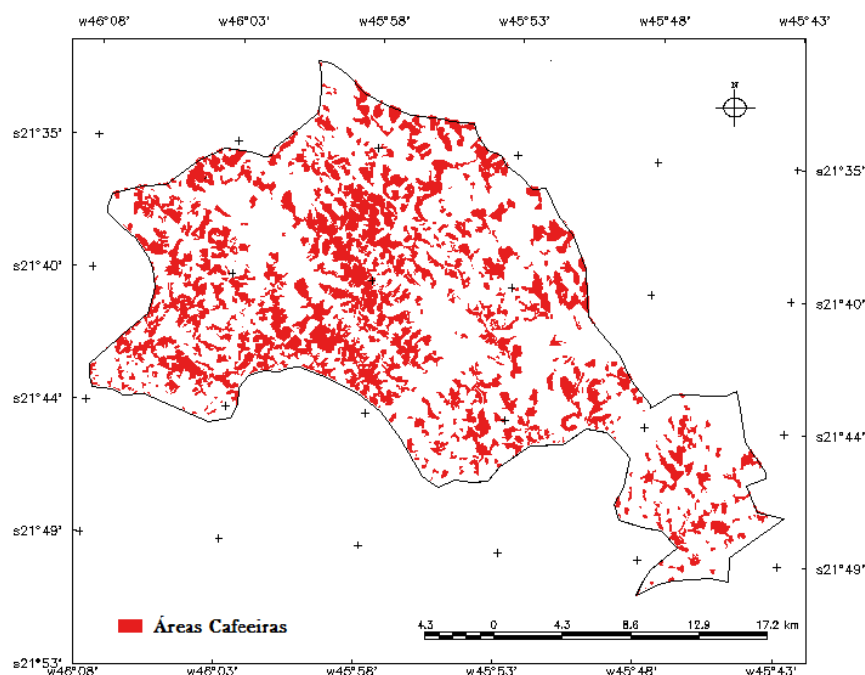


Figura 7: Áreas com Café em Produção em Machado - MG

Após a ponderação de todos os mapas, estas informações foram combinadas através do operador *Fuzzy* Gama de forma a se obter um mapa de áreas cafeeiras com potencial de mecanização. O operador Gama também foi implementado em linha de comando no LEGAL.

O operador Gama é definido pela soma algébrica *Fuzzy* e pelo produto algébrico *Fuzzy*, (MOREIRA et al., 2001):

$$\mu = \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)^{\gamma} * \left(\prod_{i=1}^n (\mu_i) \right)^{1-\gamma}$$

Onde μ_i representa o valor dos elementos Fuzzy para o PI i (grade de declividade ponderada e mapa temático ponderado). Vale ressaltar que o mapa temático de

classificação foi ponderado com valores 0 ou 1. Sendo assim o resultado do operador Gama será 0 onde não se encontrar áreas de café.

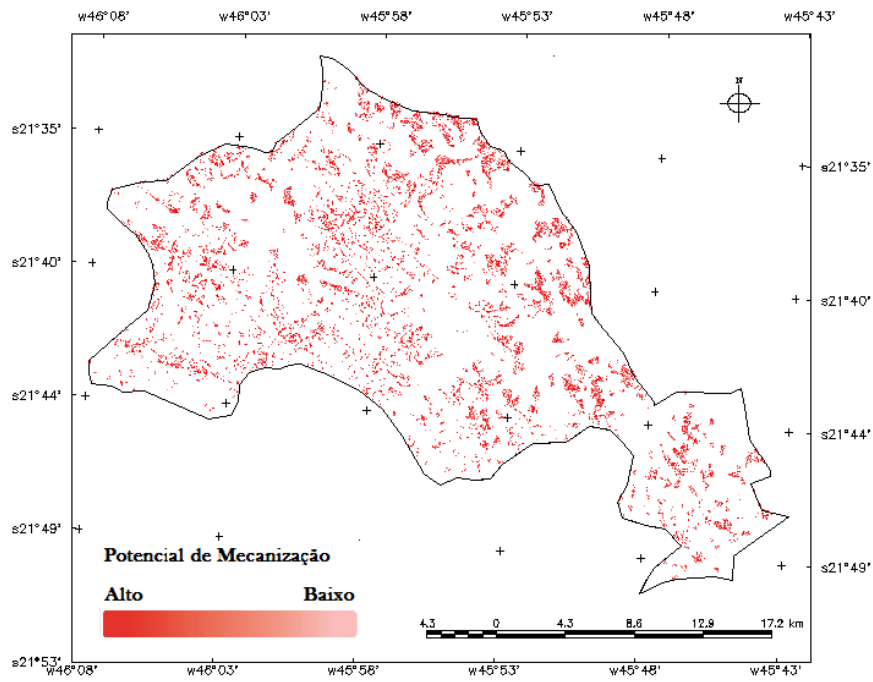
No operador Gama, pode-se variar a importância de cada termo atribuindo-se valores entre 0 e 1 para γ , sendo que $\gamma = 0$ o operador dependerá apenas do produto algébrico e quando $\gamma = 1$ dependerá apenas da soma algébrica. Assim, é possível criar cenários para o potencial de mecanização da colheita do café. Neste trabalho foram criados quatro cenários diferentes com valores γ de 0.4, 0.5, 0.6 e 0.7. E por fim, a última etapa foi realizar o fatiamento destes cenários que foram classificados com cores gradativas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

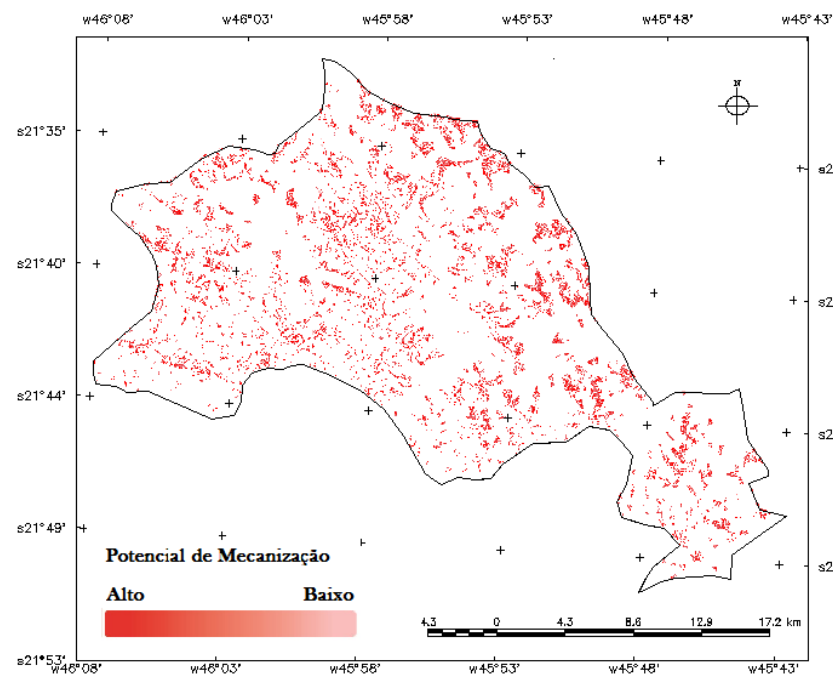
O operador *Fuzzy* Gama descrito na seção anterior, foi aplicado em ambas grades de declividade ponderada (ASTER e SRTM). Sendo assim, foi gerado um total de oito cenários de áreas cafeeiras com potencial à mecanização na região de Machado, Sul de Minas Gerais.

4.1 Cenários ASTER

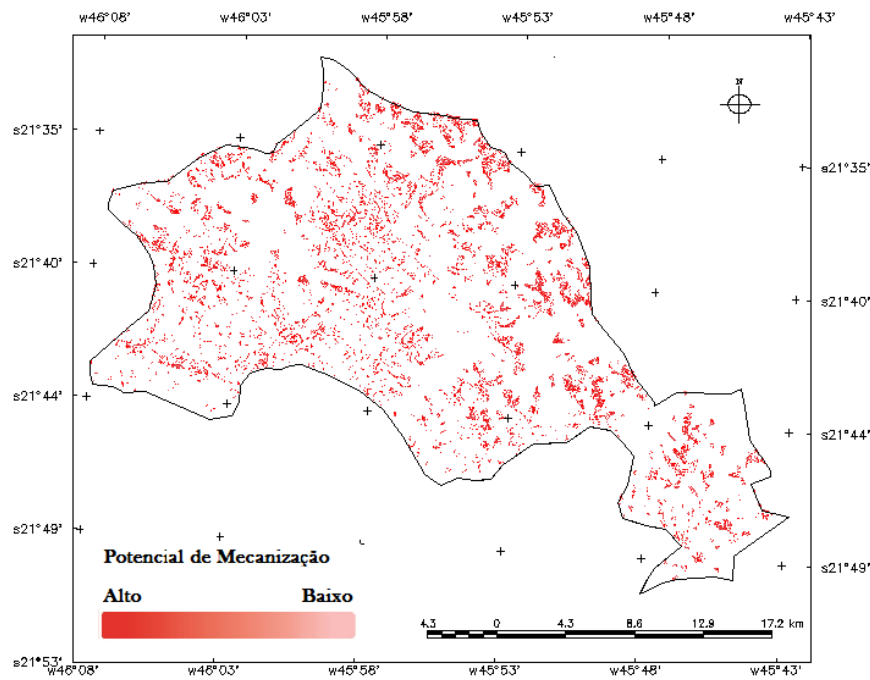
Conforme anteriormente mencionado, os dados do MDE do ASTER GDEM são obtidos por técnicas de estereoscopia que não têm tanta correlação com a declividade do terreno. Como a região de estudo possui um relevo bastante movimentado, poucas áreas de café ficaram contidas dentro do limite de declividade aceitável. Assim o resultado da composição *Fuzzy* da declividade com a ponderação das classes não foi satisfatória visualmente, (Figura 8).



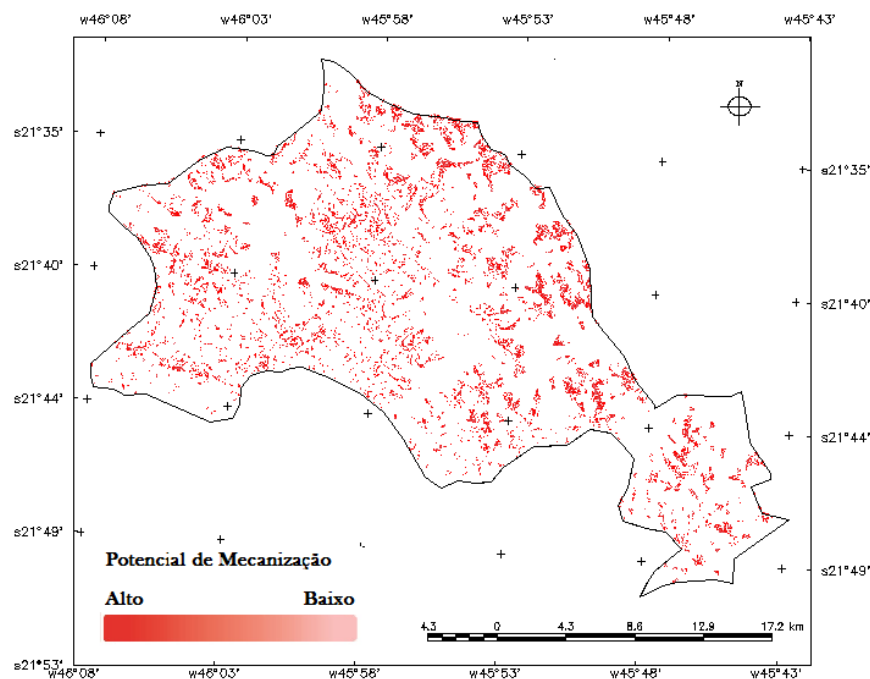
Cenário 1: $\gamma = 0.4$



Cenário 2: $\gamma = 0.5$



Cenário 3: $\gamma = 0.6$

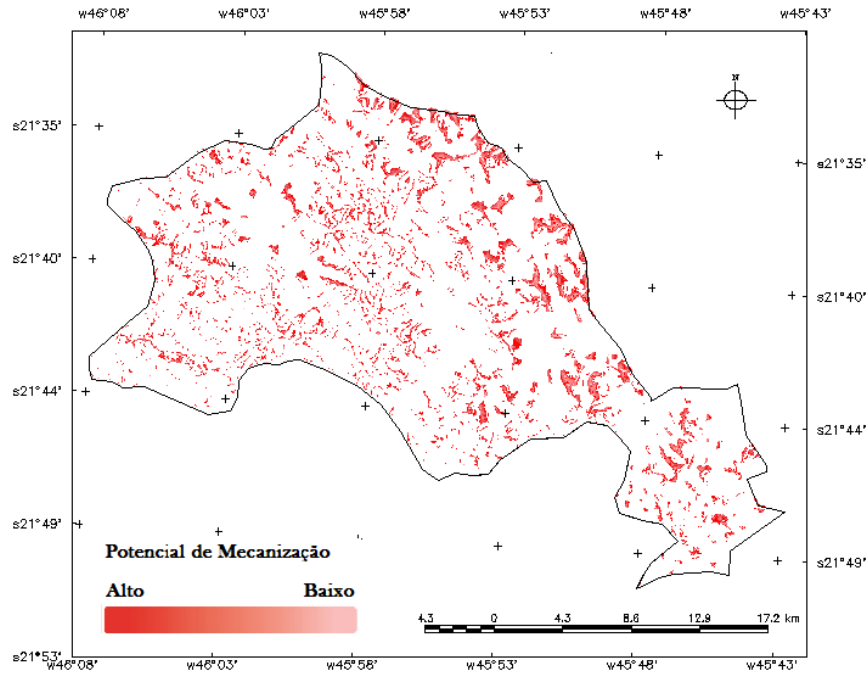


Cenário 4: $\gamma = 0.7$

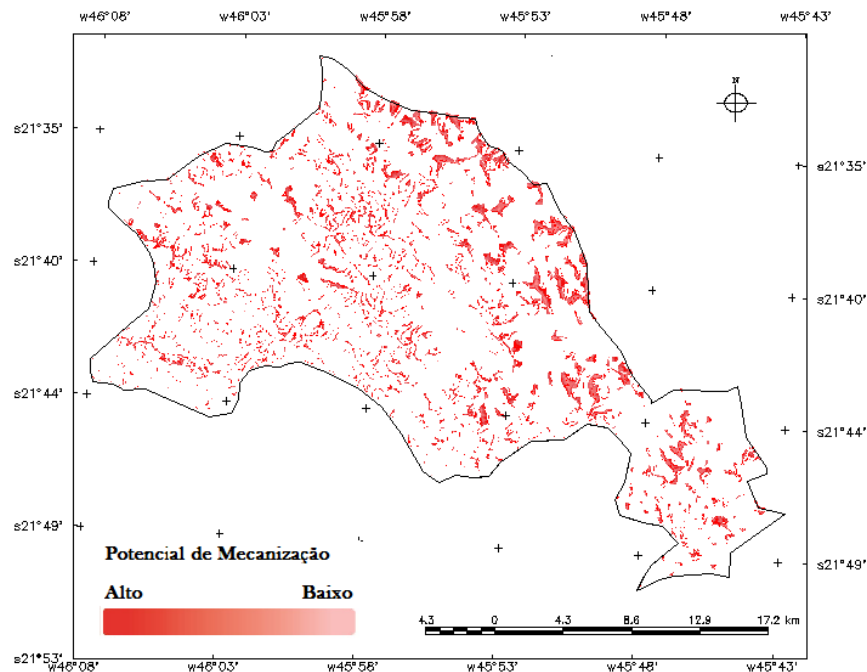
Figura 8: Mapas de áreas cafeeiras com potencial à mecanização ASTER

4.2 Cenários SRTM

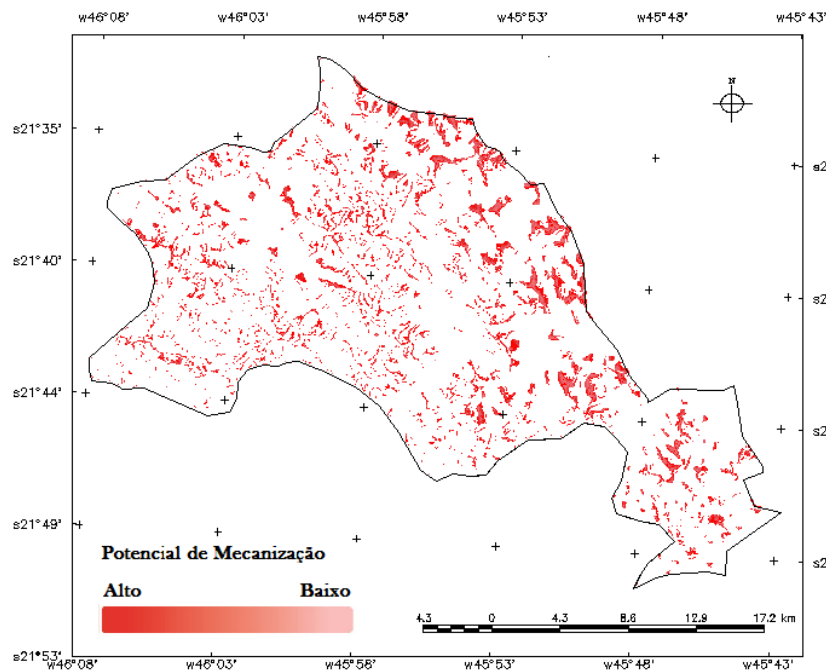
Os dados do MDE do SRTM são obtidos por técnicas de interferometria e são mais fiéis à declividade do terreno. Sendo assim, o operador Gama sobre esses dados apresentou resultados mais satisfatórios, (Figura 9).



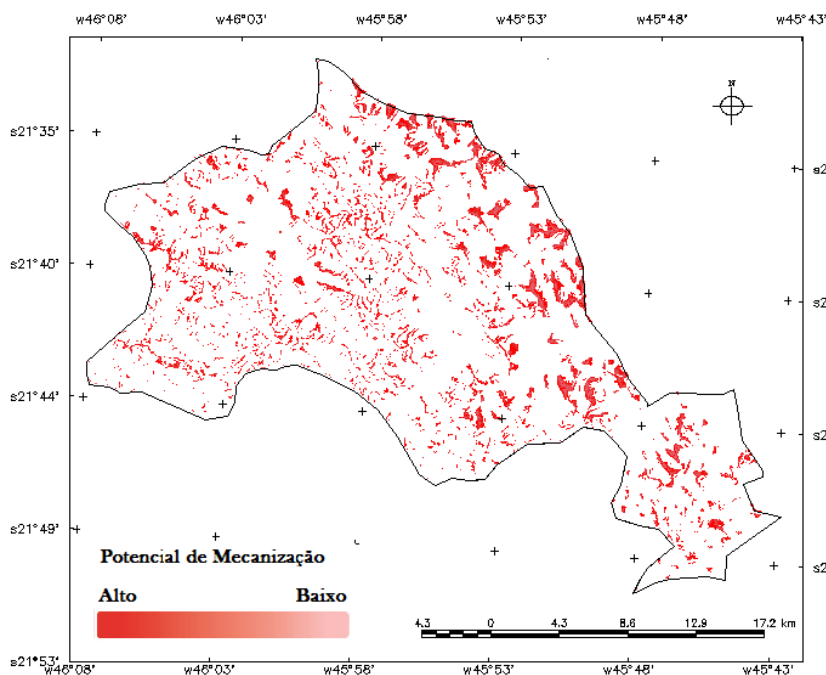
Cenário 1: $\gamma = 0.4$



Cenário 2: $\gamma = 0.5$



Cenário 3: $\gamma = 0.6$



Cenário 4: $\gamma = 0.7$

Figura 9: Mapas de áreas cafeeiras com potencial à mecanização SRTM

4.3 Comparação entre cenários ASTER e SRTM

Pode-se perceber que a declividade foi a única variável realmente influente na criação de cenários de áreas cafeeiras com potencial à mecanização. As células dos

mapas de declividade ponderada com maiores valores significam maior potencial de mecanização. Os valores de γ também exerceram influência na geração dos cenários, valores maiores criaram cenários mais favoráveis à mecanização.

Uma análise quantitativa pode ser observada na Tabela 1. Apesar de os modelos digitais de elevação serem da mesma região de estudo, eles apresentam diferenças entre si. Isto é notável pelo fato de apresentarem diferentes quantidades de áreas cafeeiras com potencial à mecanização.

Tabela 1: Análise quantitativa das áreas cafeeiras com potencial à mecanização de acordo com o MDE de Machado, MG.

		Área Total	Área com Potencial de Mecanização	Área sem Potencial de Mecanização
SRTM	km ²	179,72	67,90	111,82
	%	100	38%	62%
ASTER	km ²	179,72	57,30	122,42
	%	100	32%	68%

5. CONCLUSÃO

A mecanização da colheita do café com certeza é um método muito eficiente, com menor custo operacional e menor fluxo de mão de obra. Entretanto, esta tecnologia não é acessível a todos os cultivadores tanto por questões econômicas, quanto por características físicas do relevo onde se encontra a plantação.

O preço do maquinário da colheita não é acessível para pequenos/médios agricultores ou a quem trabalha com agricultura familiar. O que é comum de acontecer é estes agricultores alugarem o maquinário em conjunto. Mas, ainda assim, a declividade do terreno onde se encontra a lavoura é um fator crucial na mecanização. Muitas máquinas somente são operáveis em terrenos com declive abaixo de 15° para se evitar acidentes.

Este trabalho mostra que, apesar da região de Machado ser um polo importante no cultivo cafeeiro, a mecanização da colheita não é favorável em grande parte das lavouras da região. É sabido que o entorno de Machado possui um relevo bastante movimentado, de suave ondulado a forte ondulado, mas boa parte das lavouras se

encontram em declividades superiores a 15°, onde não é acessível por parte das colheiteiras.

O relevo da região foi analisado por dois modelos digitais de elevação obtidos por diferentes técnicas. O MDE por interferometria (SRTM) apresentou um resultado mais favorável à mecanização, com maiores áreas susceptíveis. O MDE por estereoscopia (ASTER) apresentou resultados menos satisfatórios, com menor quantidade de áreas potenciais à mecanização. Mas o que se conclui é que independente do MDE, a região de Machado possui boa parte de suas lavouras em áreas sem potencial à mecanização (superior a 60% em ambos MDEs). Portanto, independente da tecnologia disponível, a colheita manual ainda é necessária mesmo em grandes polos de cultivo como a região de Machado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. N. **Redes neurais artificiais aplicadas na identificação automática de áreas cafeeiras em imagens de satélite**. 2011. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

ANDRADE, L. N.; VIEIRA, T. G. C.; LACERDA, W. S.; VOLPATO, M. M. L.; DAVIS JR, C. A. Application of artificial neural network in the classification of coffee areas in machado, minas gerais state. **Coffee Science**, v. 8, p. 78-90, 2013.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. **Spring: integrating remote sensing and gis by object- oriented data modelling**. . São José dos Campos: DPI/INPE. , 1996

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira Café. **Safra 2013 primeira estimativa, janeiro/2013**, p. 1-19, 2013.

DPI - INPE. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/banco.html>>. Acesso em: 15 mai 2013

FERREIRA, R. G.; ORTEGA, A. C. IMPACTOS DA INTENSIFICAÇÃO DA MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DE CAFÉ NAS MICRORREGIÕES DE PATOS DE MINAS E PATROCÍNIO – MG Rômulo Gama Ferreira 1 Antonio César Ortega 2. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 12, n. 23, p. 71-96, 2004.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. 2011, Curitiba: [s.n.], 2011. p. 4003-4010.

MICELI, B. S.; DIAS, F. DE M.; SEABRA, F. M.; SANTOS, P. R. A. DOS; FERNANDES, M. DO C. AVALIAÇÃO VERTICAL DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDEs) EM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES TOPOGRÁFICAS PARA MÉDIAS E PEQUENAS ESCALAS. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 191-201, 2011.

MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; FILHO, R. A. Inferência Geográfica e Suporte à Decisão. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: [s.n.], 2001. .

NOGUEIRA, R. Cresce a mecanização da colheita do café. **Jornal do Sudoeste**. Disponível em: < <http://www.jornaldosudoeste.com.br/noticia.php?codigo=3493>>. Acesso em: 30 abril 2013.

PARADELLA, W. R.; CECARELLI, I. C. F.; OLIVEIRA, C. G.; LUIZ, S.; MORAIS, M. C.; COTTINI, C. P. A Geração de Modelos Digitais de Elevação pela Estereoscopia de Radar : Conhecimento Atual e Resultados com Imagens RADARSAT-1 na Amazônia. 2001, Foz do Iguaçu: [s.n.], 2001. p. 1-8.

PARADELLA, WALDIR RENATO; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; CUNHA, E. S. P. Radares Imageadores nas Geociências: Estado da Arte e Perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 2, n. 2005, p. 56-62, 2005.

ROYO, J.; GONÇALVES, F. **Cafeicultura: a revista do agronegócio**. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=38732>>. Acesso em: 11 jun 2013.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; PÁDUA, T. S. CAFÉ : MECANIZAÇÃO DA COLHEITA. 2000, Poços de Caldas: v. 1 e 2, 2000. p. 281-329.

SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; RODRIGUES, R. F.; TOURINO, E. S. AVALIAÇÃO DA COLHEITA DO CAFÉ TOTALMENTE MECANIZADA. 2001, Vitória: [s.n.], 2001. p. 741-749. Disponível em: <<http://www.sapc.embrapa.br/index.php/view-details/ii-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil/370-avaliacao-da-colheita-do-cafe-totalmente-mecanizada>>.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: GUIA PARA UTILIZAÇÃO DE DADOS GEOMORFOLÓGICOS LOCAIS**. . São José dos Campos: INPE-15318-RPQ/818. , 2008

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **TOPODATA : PROCESSAMENTO DOS DADOS SRTM**. . São José dos Campos: INPE-16702-RPQ/854. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.42>>. , 2010

VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; BERTOLDO, M. A. Mapeamento de Áreas Cafeeiras de Minas Gerais por Imagem de Satélite - Parte II: Machado. 2003, Porto Seguro: [s.n.], 2003. p. 70-71.