

## Utilização do método AHP, em ambiente SIG, para caracterização espacial de índice relativo de clorofila, índice de vegetação e incidência solar em área de cultivo de *Coffea canephora*

Éder Carlos Moreira<sup>1\*</sup>, Lucas Santos Santana<sup>2</sup>, Vagner Tebaldi de Queiroz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutor em Geociências. Professor na Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. (\*Autor correspondente: edercmoreira@hotmail.com)

<sup>2</sup>Bacharel em Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

<sup>3</sup>Doutor em Bioquímica Aplicada, Professor na Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 24/06/2021 – Revisado em: 07/07/2021 – Aceito em: 14/09/2021

### RESUMO

A produção do café no estado do Espírito Santo é uma atividade de grande importância para o estado, e com isso, diversas técnicas têm sido utilizadas para ampliar e melhorar essa atividade desde o planejamento até a comercialização do produto. Diante disso, o objetivo do trabalho consiste em avaliar, em ambiente SIG, parâmetros como clorofila, NDVI, incidência solar, altimetria e declividade por meio da análise hierárquica de processos (AHP) com o propósito de identificar a existência de variabilidade espacial para aplicação da agricultura de precisão no cultivo de *Coffea canephora*. Para isso, foi utilizado o software ArcGis (2014) e dois dados *rasters*: (i) Imagem SRTM com resolução horizontal de 30-90m para extração dos dados de declividade, incidência solar e altimetria; (ii) Imagem *RapidEye* datada de julho de 2013 com precisão de 5-6,5m para extração dos dados de NDVI e clorofila. Destaca-se nos resultados, que a análise hierárquica de processos se mostrou favorável para avaliar uma área representada por superfície de pixel da variabilidade do potencial de produtividade de *Coffea canephora* entre 0 e 255. Para um resultado mais preciso em ambiente SIG, seria necessário utilizar dados de um modelo digital de elevação de alta precisão ou similar às imagens do sensor *RapidEye*, já que um dos fatores importantes (incidência solar) é dependente desse dado.

**Palavras-Chaves:** cafeicultura, geoestatística, variabilidade espacial, agricultura de precisão.

### ABSTRACT

Coffee production in the state of Espírito Santo is an activity of great importance to the state, and with this, several techniques have been used to expand and improve this activity, from planning to market the product. Therefore, the objective of the work is to evaluate, in a GIS environment, parameters such as chlorophyll, NDVI, solar incidence, altimetry and slope through hierarchical process analysis (AHP) in order to identify the existence of spatial variability for the application of precision agriculture in the cultivation of *Coffea canephora*. For this, the ArcGis software (2014) and two raster data were used: (i) SRTM image with horizontal resolution of 30-90m for extraction of slope, solar incidence and altimetry data; (ii) *RapidEye* image dated July 2013 with an accuracy of 5-6.5m for NDVI and chlorophyll data extraction. It is noteworthy in the results that the hierarchical process analysis was favorable to evaluate an area represented by pixel surface of the variability of the productivity potential of *Coffea canephora* between 0 and 255. For a more accurate result in a GIS environment, it would be necessary to use data from a high-precision digital elevation model or similar to *RapidEye* sensor images, as one of the important factors (solar incidence) is dependent on this data.

**Keywords:** coffee production, geostatistics, spatial variability, precision agriculture.

Moreira, E. C., Santana, L. S., Queiroz, V, T. (2022). Utilização do método AHP, em ambiente SIG, para caracterização espacial de índice relativo de clorofila, índice de vegetação e incidência solar em área de cultivo de *Coffea canephora*. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.3, n.1, p.002-014.



## 1. Introdução

Desenvolvida em todos os municípios do Espírito Santo, com exceção da Capital, a produção cafeeira representa a principal atividade agrícola do estado. O estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do Brasil, correspondendo a 25% do total colhido, liderando na produção de *Coffea canephora* (conilon) com 75% da produção nacional. Essa atividade é a maior empregadora rural do estado, gerando 400 mil postos de trabalho apenas no setor produtivo, representando a principal atividade para 80% dos municípios e respondendo por 43% da produção agrícola. Devido a importância da produção do café para o Espírito Santo, diferentes estratégias devem ser avaliadas para ampliar e melhorar essa atividade, desde o plantio até a comercialização do produto (INCAPER, 2020; Ferrão et al., 2013).

Na cafeicultura de precisão os estudos da variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta podem ser utilizados para a obtenção de mapas e auxiliar no manejo da lavoura. Estudos de variabilidade espacial têm sido realizados no intuito de aumentar a eficiência da adubação, da pulverização e da colheita visando a elevação da produtividade e da qualidade final do produto (Molin, 2001). A realização de tais estudos se justifica uma vez que o cultivo do café ocorre em regiões com diversidade de clima, solo, relevo, infestações fitossanitárias, sistemas de manejo e características fisiológicas de cultivares que podem influenciar no manejo da lavoura e na produtividade do cafeeiro (Alves et al., 2009).

Embora os mapas de produtividade possam ser utilizados para avaliar as causas de variabilidade da produtividade do cafeeiro, novas tecnologias devem ser implementadas visto que o formato da planta, a desuniformidade de maturação e o teor de umidade dos frutos prejudica a mecanização das colheitas de café e, conseqüentemente, a obtenção dos dados de produtividade para a confecção dos mapas (Filgueiras, 2001; Molin, 2001). Para mitigar esse problema, Sartori et al. (2002) avaliaram um monitor de produtividade na colheita mecanizada dos frutos de cafeeiro. Os autores concluíram que a incorporação do sensor volumétrico integrado ao coletor da esteira mostrou-se prática e acurada para a obtenção de dados de produtividade.

No intuito de assegurar que o zoneamento da cultura do café retrate ainda condições cada vez mais próximas da realidade, os estudos também têm incorporado riscos climáticos (balanço hídrico, variações de temperatura do ar e a ocorrência de eventos adversos) e utilizado técnicas de geotecnologia para a espacialização dos resultados, entre elas, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Alves et al., 2011). O SIG pode auxiliar a agricultura de precisão na identificação e manejo de áreas de cultivo do café com maior produtividade a partir da análise de parâmetros técnicos e ambientais, entre eles, clorofila, NDVI, incidência solar e aspectos morfométricos como altimetria e declividade (Grego et al., 2014; Souza, Silva e Alves, 2008).

O conteúdo de clorofila na folha é uma variável importante para o sensoriamento remoto agrícola devido à sua relação direta com o conteúdo de nitrogênio na folha. Reis et al. (2006) realizaram o cultivo do cafeeiro com a aplicação de diferentes doses nitrogênio e observaram que, nas folhas, a concentração de clorofila correlacionou-se positivamente com o teor de nitrogênio e com a produção de grãos. Outro parâmetro a ser considerado em relação à produtividade é o índice de vegetação devido à desfolha que pode ocorrer em função da colheita do café. A desfolha pode proporcionar uma condição de estresse para o cafeeiro e interferir na sua produtividade uma vez que a planta utilizará suas reservas para a recomposição da vegetação, no próximo ciclo, implicando em menor frutificação (Rena et al., 1994; Bártholo; Guimarães, 1997). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) é um índice que consegue analisar a condição real de uma plantação, através do seu sensoriamento remoto (Rodrigues et al., 2019).

A incidência solar, altimetria e declividade são fatores que também apresentam grande relevância para a cafeicultura visto que para uma mesma região podem ser observados climas mais frios em altitudes maiores, quando comparados à média da região. Normalmente, as faixas de aptidão para a produção do café são mais amplas que as referentes à qualidade da bebida. Considerando que os parâmetros macroclimáticos favoráveis para a obtenção de bebida fina podem ser influenciados por efeitos oro- e topoclimáticos, a

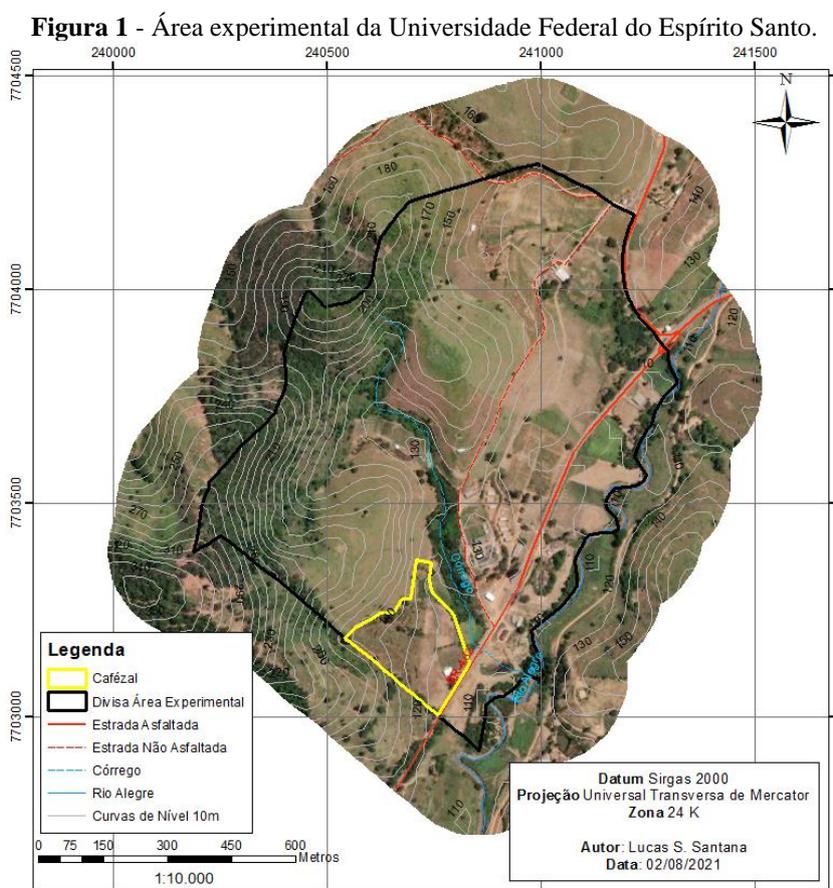
composição química da mucilagem do café, o tipo de atividade microbiana e a intensidade do processo fermentativo pode ser afetado e influenciar na qualidade da bebida (Alves et al., 2011).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar, em ambiente SIG, os parâmetros clorofila, NDVI, incidência solar, altimetria e declividade pela análise hierárquica de processos (AHP) com o propósito de identificar a existência de variabilidade do potencial de produtividade para aplicação da cafeicultura de precisão no cultivo de *Coffea canephora* no estado do Espírito Santo.

### 3. Material e Métodos

Para se estimar a variabilidade de produtividade do cafeeiro a partir de parâmetros técnicos e ambientais, necessita-se ter como resultado um mapa onde cada pixel represente um valor oriundo de uma equação com os parâmetros multiplicados por um peso que representa o grau de importância entre eles, esse método é conhecido por análise hierárquica de processos (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) foi desenvolvida na década de 70 pelo matemático Thomas Lorie Saaty e, conforme Costa (2002), “*objetiva a seleção/escolha de alternativas, em um processo que considere diferentes critérios de avaliação*”.

A área de interesse do estudo consiste no plantio de café da área experimental da Universidade Federal do Espírito Santo (*Campus de Alegre*), localizada no município de Alegre (ES), sul do Espírito Santo (Figura 1). A partir de Vitória, capital do estado, o principal acesso para a região de estudo é seguindo a BR-101 Sul com sentido até Cachoeiro de Itapemirim, por cerca de 140 km. Em Cachoeiro de Itapemirim segue pela ES-482 até Alegre (ES).



Para a execução do presente trabalho, foi utilizado o software ArcGis (2014) e dois dados *rasters*: (i) Imagem SRTM com resolução horizontal de 30-90m para extração dos dados de declividade, incidência solar e altimetria; (ii) Imagem *RapidEye* datada de julho de 2013 com precisão de 5-6,5m para extração dos dados de NDVI e clorofila. Este trabalho representa a etapa inicial para verificar a existência de variabilidade do potencial de produtividade no cultivo de *Coffea canephora* na área de estudo. Caso a hipótese se confirme, pretende-se avaliar a existência de correlação desses resultados com os obtidos em condições de campo, para a mesma região. Em 2013, o professor Vagner Tebaldi de Queiroz coordenou nesta área experimental o desenvolvimento de trabalho de pesquisa para a determinação do teor de proteínas e da atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase nos clones de *Coffea canephora* “Incaper Vitória 8142” 12V e 13V. Estas análises foram realizadas para os diferentes clones antes e após a colheita dos frutos (Queiroz et al., 2016).

As imagens da constelação de satélite RapidEye foram obtidas através do Geo Catálogo do MMA, com cinco bandas espectrais (azul, verde, vermelha, borda vermelha, infravermelho próximo), resolução radiométrica de 12 bits adquirida com resolução de 6,5 metros e ortoretificada com 5 metros (MMA, 2019). Já as imagens SRTM foram realizadas a partir de uma missão espacial com o propósito de produzir um banco de dados digitais para todo o planeta, necessários na elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais, com resolução radiométrica de 16 bits. Os MDEs são organizados em *tiles* de 1°x1° e oferecem 30 m de resolução vertical para os Estados Unidos e 90 m de resolução vertical para as outras localidades (USGS, 2019).

Para a representação em mapa, os dados de declividade, incidência solar e altimetria foram obtidos, respectivamente, a partir da aplicação das ferramentas *Slope*, *Area Solar Radiation* and *Contour* na imagem SRTM através do *software* ArcGis. Enquanto os dados do índice de clorofila e NDVI foram obtidos a partir das fórmulas na imagem *RapidEye*:

$$\text{Índice de Clorofila} = ((\text{float}(B5))/(\text{float}(B3)))-1 \quad (\text{I})$$

$$\text{NDVI} = ((\text{float}(B4-B3))/(\text{float}(B4+B3))) \quad (\text{II})$$

Onde B3, B4 e B5 representam, respectivamente, as bandas 3, 4 e 5 da imagem de satélite, enquanto *float* significa o comando necessário para armazenar valores numéricos dentro de um intervalo específico.

### 3.1 Descrição e seleção dos parâmetros

Para o desenvolvimento de uma lavoura cafeeira, deve-se analisar parâmetros técnicos e ambientais para uma proposta econômica, de alta produtividade e não prejudicial ao meio. Na área de estudo e a partir dos materiais disponíveis da região, é possível avaliar parâmetros como solo, clorofila, declividade, NDVI, incidência solar, altimetria, pluviosidade e temperatura. Esses fatores estão descritos na Tabela 1.

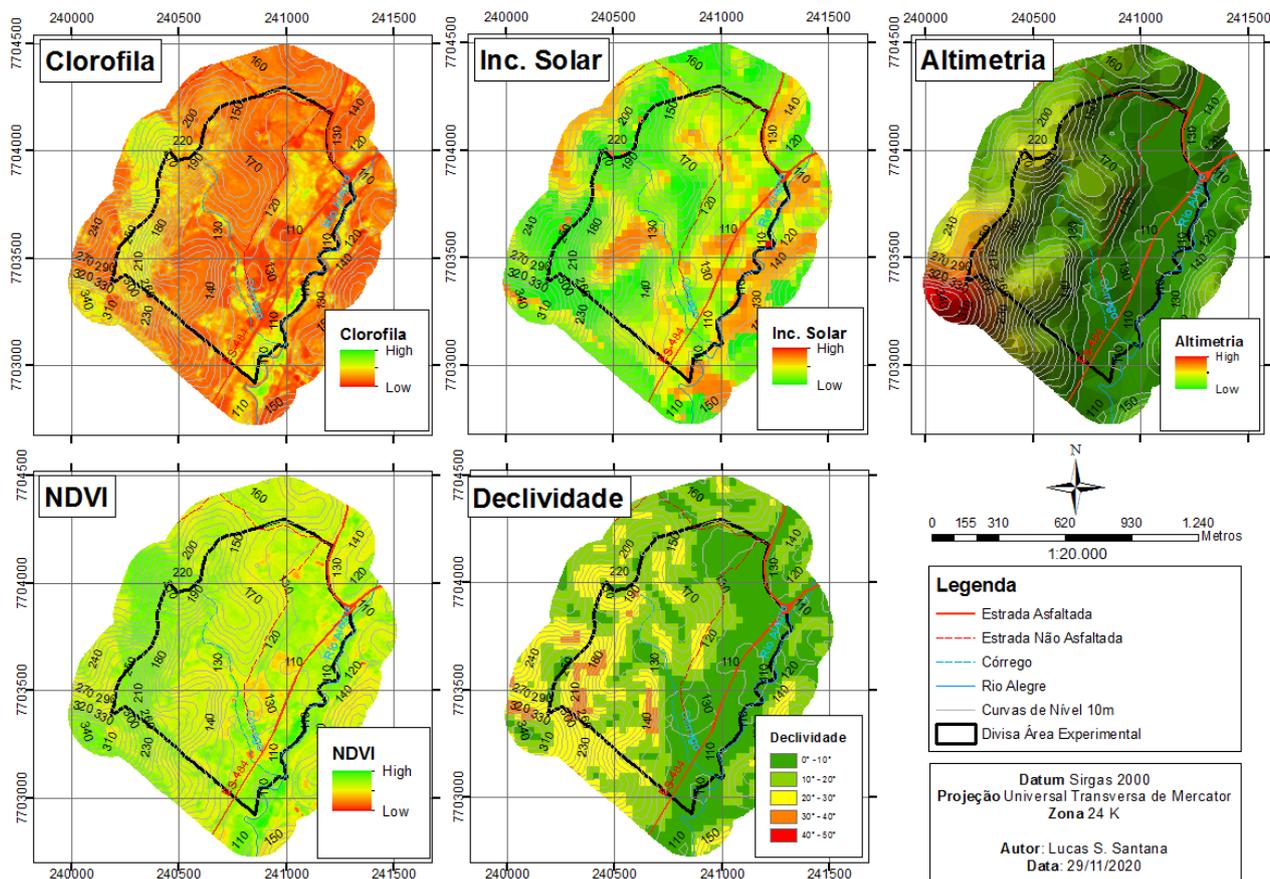
**Tabela 1** – Parâmetros técnicos e ambientais para o desenvolvimento de uma lavoura cafeeira

Parâmetro	Importância	Condição Ideal	Condição na Área de Estudo	Possibilidade de Zoneamento
Temperatura	Fator limitante para o tipo de cultura cafeeira.	Café arábica entre 18 °C e 23 °C; Café conilon entre 22 °C e 26 °C.	Temperatura média anual de 23 °C.	Não
Pluviosidade	Fator limitante para o tipo de cultura cafeeira.	Café arábica entre 1.200 mm e 1.800 mm anuais; Café conilon com déficit hídrico anual acima de 350 mm.	Precipitação anual média de 1.200 mm.	Não
Solo	Propicia um ambiente favorável ao manejo e crescimento de um cafezal.	Profundidade efetiva mínima de 120 cm, com condições de textura e estrutura favoráveis.	Latossolo Vermelho Amarelo.	Não
Clorofila	Pigmento responsável por captação da luz solar nas plantas e assegurar a fotossíntese.	Recomendável altos valores de índice de clorofila.	Moderado a baixo no perímetro da UFES, moderado a alto no cafezal.	Sim
NDVI	Parâmetro utilizado para o monitoramento e sanidade das plantações e culturas.	Variável.	Moderado a alto no perímetro da UFES, alto no cafezal.	Sim
Incid. Solar	Fator físico diretamente relacionado à saúde da planta quanto à produção de fotossíntese.	Recomendável valores moderados para um bom desenvolvimento do cafezal.	Incidência Solar moderada.	Sim
Altimetria	Influência que exerce na longevidade, na produtividade e na qualidade da bebida.	600-1200m para café arábica, até 500m para o café conilon.	Altitude inferior a 500m.	Sim
Declividade	Fator importante para o manejo, plantio e colheita; Influência no escoamento e na velocidade de perda de solo pela erosão.	Recomendável áreas de baixa declividade.	Declividade do cafezal inferior a 20°, perímetro da UFES com declividade máxima de 50°.	Sim

**Fonte:** Ferrão (2012), Magno (2016), Matielo et al. (2015).

Apesar de sua importância, fatores como temperatura, pluviosidade e solo apresentam apenas uma classificação de zoneamento espacial na área de estudo, o que impossibilitou tratar seus dados dentro da metodologia AHP. Já os fatores declividade, altimetria, clorofila, incidência solar e NDVI apresentam a possibilidade de zoneamento na área de estudo, o que possibilitou o tratamento dos seus dados utilizando a metodologia AHP. A representação desses dados está na Figura 2.

Figura 2 – Mapas de parâmetros clorofila, NDVI, incidência solar, declividade e altimetria.



### 3.2 Normalização dos parâmetros

Com o intuito de normalizar cada um dos parâmetros para uma mesma escala de valores, foi utilizado o byte (0-255) como formato de dado de saída, onde o valor zero representa o valor mínimo enquanto o valor 255 representa o valor máximo. Essa representação de valores entre dois limites é conhecida como lógica fuzzy, que diferentemente da lógica convencional que classifica as situações em verdadeiro ou falso, na lógica fuzzy “uma premissa varia em grau de verdade de “0” a “255”, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa” (Cavalcante et al., 2012, p. 11).

Para a normalizar os parâmetros, deve-se levar em consideração a relação destes com a produtividade do cafeeiro, foco do estudo. O conteúdo de clorofila na folha apresenta relação direta com o conteúdo de nitrogênio e, conseqüentemente, com a produtividade do cafeeiro. Considerando que o nitrogênio é necessário para a síntese da clorofila e de proteínas/enzimas relacionadas ao metabolismo basal do cafeeiro, baixos níveis de clorofila irão comprometer a absorção de luz solar e, conseqüentemente, funções essenciais do metabolismo como a absorção de nutrientes e a produção de grãos (Reis et al., 2006). Por esse motivo, o alto índice de clorofila será considerado como o de maior produtividade para o cafeeiro no presente trabalho.

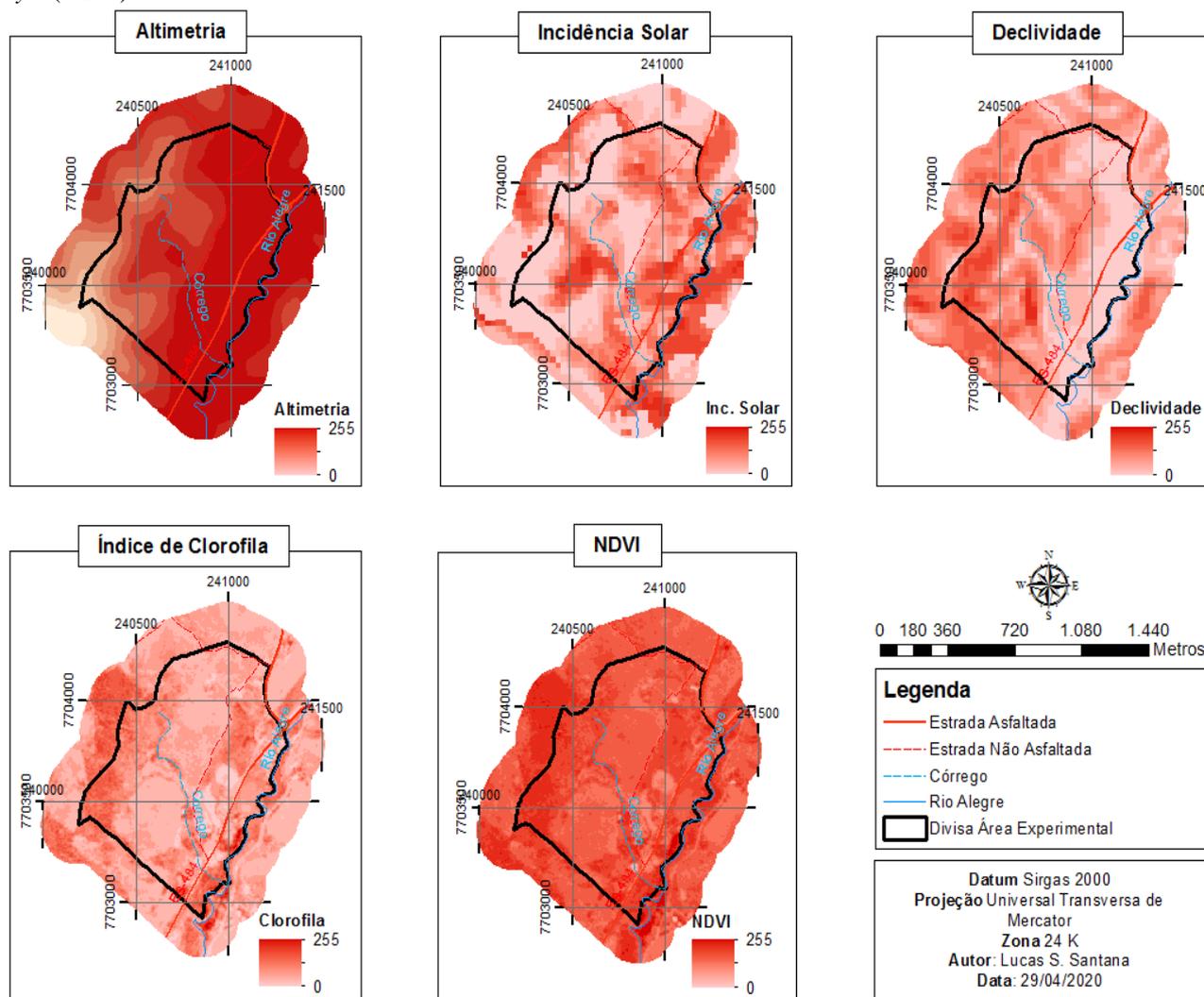
Segundo Alvarenga (2020), o NDVI está relacionado com o teor de clorofila das folhas e, conseqüentemente, com a produtividade. Estudos verificaram que a redução do índice de vegetação devido à desfolha pode ocorrer durante a colheita, proporcionando condição de estresse para o cafeeiro e reduzindo a sua produtividade no ciclo seguinte (Rena et al., 1994; Bártholo; Guimarães, 1997). A incidência solar está

diretamente relacionada com o índice de clorofilas, já que estas estão presentes nas folhas e ficam expostas ao sol, sendo responsáveis pela absorção da luz solar no processo da fotossíntese.

Como a declividade possui caráter técnico, as áreas de baixa declividade são mais aptas para o desenvolvimento de um cafezal, devido à facilidade no manejo e colheita do café. Apesar da altimetria também apresentar relação com o caráter técnico de um sistema cafeeiro, também está relacionada com as condições climáticas necessárias para o crescimento do vegetal e do tipo de café que será produzido no local. Além disso, Júnior (2017) determinou que o vegetal com maiores teores de clorofila está situado em menores altitudes e, menores teores de clorofila em maiores altitudes.

Os parâmetros normalizados na escala de valores entre 0 e 255 encontram-se representados na Figura 3, onde 0 representa regiões de baixo potencial produtivo, enquanto 255 representa regiões de alto potencial produtivo para o cafeeiro.

**Figura 3** – Mapas de parâmetros Clorofila, NDVI, Incidência Solar, Declividade e Altimetria normalizados na escala byte (0-255).



### 3.3 Ponderação das variáveis

Para avaliar os parâmetros clorofila, NDVI, incidência solar, declividade e altimetria (Figura 3) com a finalidade de estimar a produtividade do cafeeiro, deve-se atribuir pesos para cada critério utilizado na análise de acordo com o grau de importância entre eles. O estabelecimento dos pesos no Método AHP é determinado a partir da comparação de importância relativa entre duas variáveis, por meio de uma matriz de comparação par-a-par (Figura 4), obtendo os pesos utilizados na análise do presente trabalho ((Tabela 2).

**Figura 4** - Matriz de Comparação para gerar os pesos dos fatores clorofila, NDVI, incidência solar, declividade e altimetria.

Escala de Comparação									
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9	
Extremamente	Muito	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito	Extremamente	
Menor a importância					Maior a importância				
	<b>Clorofila</b>	<b>NDVI</b>	<b>Incidência Solar</b>	<b>Altimetria</b>	<b>Declividade</b>				
<b>Clorofila</b>	1								
<b>NDVI</b>	1/3	1							
<b>Incidência Solar</b>	1/3	1	1						
<b>Altimetria</b>	1/5	1/3	1/3	1					
<b>Declividade</b>	1/9	1/7	1/7	1/3	1				

O índice de clorofila está diretamente relacionado à produtividade do cafeeiro, por esse motivo esse parâmetro receberá o maior peso em comparação aos demais. NDVI e incidência solar estão relacionados à clorofila e, por esse motivo, apresentam maior importância que declividade e altimetria, recebendo um peso similar (Tabela 2).

**Tabela 2** - Pesos finais obtidos a partir da matriz de comparação dos parâmetros clorofila, NDVI, incidência solar, declividade e altimetria.

<b>Parâmetros</b>	<b>Peso</b>
Clorofila	0,4738
NDVI	0,2056
Incidência Solar	0,2056
Altimetria	0,0812
Declividade	0,0338

A altimetria e a declividade receberam os menores pesos uma vez que representam parâmetros técnicos, relacionados com a colheita, ao tipo de café plantado, estabilidade do terreno, escoamento e sistema de plantio que não apresentam relação tão direta com a produtividade quanto a clorofila, NDVI e incidência

solar. Considerando a influência que altimetria exerce na longevidade, na produtividade e na qualidade da bebida, este parâmetro receberá um peso maior em comparação à declividade.

### 3.4 Combinação Linear

Considerando que as imagens de cada parâmetro foram normalizadas no formato byte (0-255) e os pesos de cada um já foi calculado, a confecção do mapa com a combinação de todos os fatores se dá a partir da álgebra de mapas, que é o cruzamento das inúmeras informações já obtidas para a geração de um mapa síntese. O procedimento de avaliação multicritério utilizado foi a combinação linear ponderada (*Weighted Linear Combination - WLC*). De acordo com Melo (2001), esse método combina os fatores por intermédio de uma média ponderada, dada pela equação III

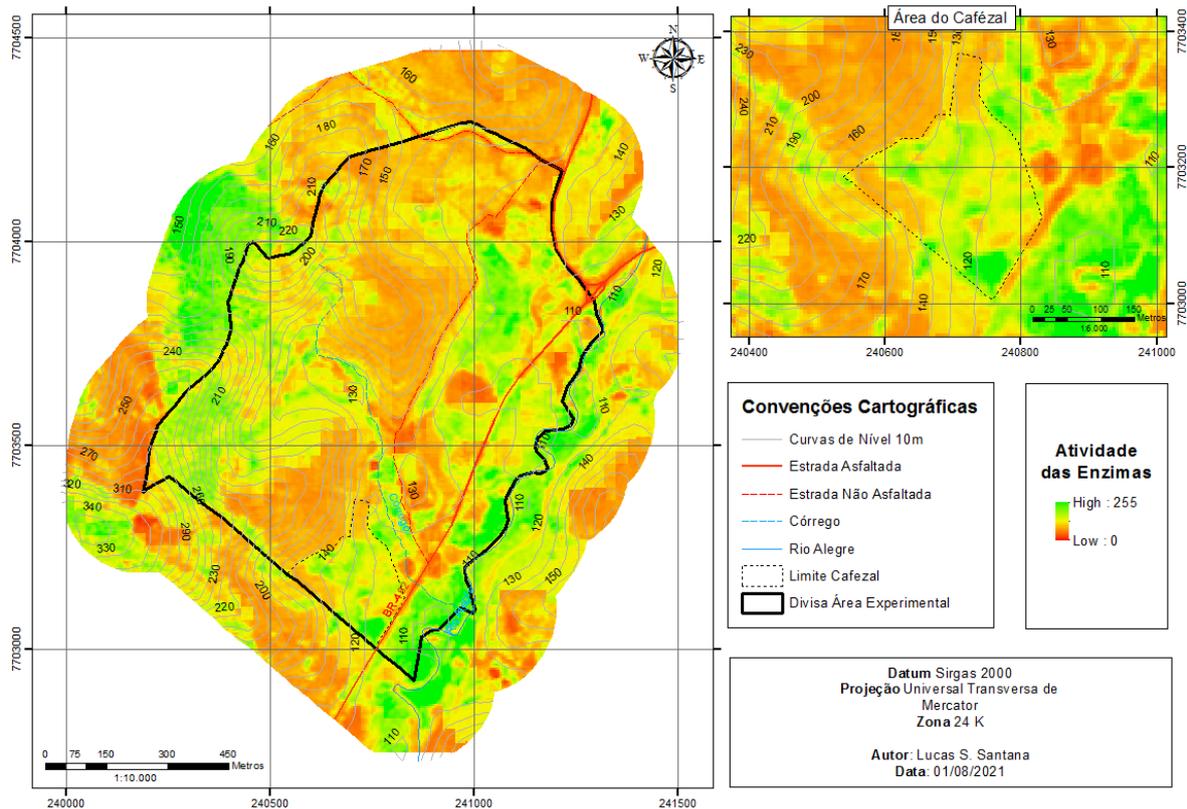
$$S = \sum W_i * X_i \tag{III}$$

Sendo que S é o valor final do escore,  $W_i$  é o peso do fator i e  $X_i$  é o valor normalizado para o mesmo fator.

## 4. Resultados e Discussão

A partir da análise dos fatores e dos seus respectivos pesos estabelecidos de acordo com a referência bibliográfica utilizada, por meio da combinação linear ponderada, foi elaborado o mapa síntese representado na Figura 5.

**Figura 5 – Potencial de Produtividade do Cafeeiro da área experimental da UFES.**



Na Figura 5, o mapa representa a variabilidade espacial para o cultivo de *Coffea canephora* considerando os parâmetros clorofila, NDVI, incidência solar, declividade e altimetria, de fato, uma superfície que indica o potencial de produtividade para o cafeeiro, onde cada pixel possui um valor variando de 0 (baixo potencial) a 255 (alto potencial), decorrente da aplicação dos fatores, seus pesos e da análise ponderada realizada.

Pela análise da Figura 5 observa-se que os valores normalizados entre 0 e 255 da imagem do índice de clorofila (Figura 3) prevaleceram no mapa síntese, isso decorre do valor do peso destinado ao fator clorofila. Porém nota-se a influência dos fatores NDVI e incidência solar, tanto pelos pixels maiores do último fator citado quanto uma diminuição no valor do pixel da imagem onde apresentava altos valores no índice de clorofila, já que estes apresentam valores opostos à clorofila. Já a altimetria e a declividade apresentaram pouca influência no mapa síntese devido aos seus pesos baixos.

Ao observar a área do cafezal (Figura 5, em destaque) na área experimental da Universidade Federal do Espírito Santo (*Campus* de Alegre), notou-se que, apesar do fator como o índice de clorofila ter uma grande influência, a altimetria e a declividade apresentaram uma importância na análise, pois as áreas localizadas em menores altitudes e em menor declividade, apresentaram um alto valor de pixel, isso ocorreu pois são áreas de vales que possuem um microclima mais ameno e favorável a ter um maior valor de índice de clorofila, mostrando uma interdependência entre os fatores. Essa relação entre os fatores também foi observada no trabalho de Junior (2017) que analisou os fatores altimetria e índice de clorofila no mesmo local de estudo.

Para um resultado mais preciso em ambiente SIG, seria necessário o mapeamento pedológico em escala adequada e informações sobre índices pluviométricos e climáticos para o zoneamento dentro da área de estudo bem como utilizar dados de modelo digital de elevação de alta precisão ou similar às imagens do sensor RapidEye, já que a incidência solar é dependente desse dado.

Espera-se que a partir dos resultados aqui apresentados possam ser realizados trabalhos futuros para avaliar a correlação entre a variabilidade espacial e os resultados descritos por Queiroz et al. (2016) referentes ao teor de proteínas e atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase para as diferentes fases fenológicas dos clones 12V e 13V de *Coffea canephora*.

## 5. Conclusão

A Análise Hierárquica de Processos (AHP) se mostrou favorável para avaliar a área representada por uma superfície de pixel da variabilidade do potencial de produtividade de *Coffea canephora* entre 0 e 255.

Apesar da existência de variabilidade espacial a partir dos parâmetros clorofila, NDVI, incidência solar, altimetria e declividade, avaliados na área de cultivo do cafeeiro, vale reiterar que os resultados obtidos pelo método de AHP em ambiente SIG não devem ser utilizados isoladamente para a tomada de decisões. Esses resultados devem ser avaliados em conjunto com estudos de campo e laboratoriais para retratar condições mais próximas da realidade e contribuir para o manejo eficiente do cafeeiro objetivando melhoria da produtividade e qualidade da bebida.

## 6. Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Espírito Santo e ao Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, bem como a todo pessoal que cuida da área experimental para que pudéssemos realizar este trabalho. Agradecemos a todas as pessoas envolvidas direta ou indiretamente com a realização deste trabalho.

## 7. Referências

- Alvarenga, A. (2012). **Uso de índices de vegetação para adubação nitrogenada**. 2020. Loja virtual. Disponível em: <<https://reagro.com.br/blog/indices-de-vegetacao-para-adubacao-nitrogenada/>>. Acesso em 20/06/2021.
- Alves, H. M. R., Volpato, M. M. L., Vieira, T. G. C., Borém, F. M., Barbosa, J. N. (2011). Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.32, n.261, p.01-12.
- Alves, M. C., Silva, F. M., Moraes, J. C., Pozza, E. A., Oliveira, M. S., Souza, J. C. S., Alves, L. S. (2009). Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. **Precision Agriculture**, v.10, n.12, p.1-14.
- Bártholo, G. F., Guimarães, P. T. G. (1997). Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, v. 19, n. 187, p. 33-42.
- Cavalcante, J. H. F., Melo, H., Souto, C. R., & Cavalcante, M T. (2012). Lógica Fuzzy aplicada às Engenharias (1 ed.). João Pessoa/PB: **Câmara do Livro**, 130-140.
- Costa, H. G. (2002). Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. (1 ed.). **Anais do XXXVI SBPO - O impacto da pesquisa operacional nas novas tendências multidisciplinares**. Niterói, RJ, Brasil, 1
- ESRI - Environmental System Research Institute (2021). **ArcMap 10.4**. Virtual, Disponível em: <<http://www.esri.com>>. Acesso em: 20/06/2021.
- Ferrão, R. G. ( 2012). **Café Conilon: Techniques for Production with Improved Varieties**. (4. ed.) Revised and Updated, Vitória/ES: **Incaper**, 2, 74.
- Ferrão, R. G., Silva, A. E. S., Ferrão, M. A. G., & Fonseca, A. F. A. (2013). No ES Cafeicultura Responde por 43% da Produção Agrícola. **Visão Agrícola**, 12, 95-96.
- Filgueiras, W. H. (2001). **Modelagem da planta de café por elementos finitos para estudos de colheita por vibração**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Grego, C. R., Oliveira, R. P., VIEIRA, S. R. (2014). **Geoestatística aplicada a Agricultura de precisão**. Brasília: Embrapa, 442-457.
- INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Cafeicultura** (2020). Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura>>. Acesso em: 19/06/2021.
- Junior, A. V. C. **Índices Foliares de Clorofila de Cafeeiro em Faces de Exposição**. 2017. Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2017/anais/arquivos/RE\\_1214\\_1221\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/RE_1214_1221_01.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2020.

Lee, C. Y., Pennesi, A. P., & Dickison, M. H. **Characterization of cauliflower peroxidase isoenzyme**. J. Agr. Washington: And Food Chem, 32, (1), 18-21.

Magno, M. C. (2016). **Manual do café: implantação de cafezais Coffea arábica L.** Belo Horizonte: EMATER-MG, 50 p. il.

Matiello, J.B., Santinato, R., Almeida, S.R., & Garcia, A.W.R. (2015). **Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações** (2 ed.). Varginha/MG: editor Futurama, 585.

Melo, A. L. O. **Avaliação e Seleção de Áreas para Implantação de Aterro Sanitário utilizando lógica Fuzzy e Análise multi-critério: Uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim-ES.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Viçosa-UFV, Universidade Federal de Viçosa/UFV, 2009.

MMA - Ministério Meio Ambiente (2021). **Geo Catálogo MMA.** Brasil. Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>>. Acesso em: 19/06/2021.

Molin, J. P. (2001). **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade.** Piracicaba: ESALQ, 83 p.

Queiroz, V. T., Costa, A.V., Guimarães, L. C. E. G., Guedes, N. A., Fazolo, M., Britto, K. B. (2016). Determination of polyphenol oxidase activity in the cultivar *Coffea canephora* Conilon Vitória grown in field conditions. **The 26th International Conference on Coffee Science**, Kunming, China.

Reis, A. R., Furlani Junior, E., Buzetti, S., Andreotti, M. (2006). Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, 65 (1), 163-171.

Rena, A. B., Nacif, A. P., Gontijo, P. T. G., Pereira, A. A. (1994). Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. **Simpósio Internacional sobre Café Adensado**, Londrina, PR, Brasil, 73-85.

Robison, D. S. (1987). Food Biochemistry and Nutritional Value. Reino Unido: **Logman Scientific and Technical**, 5, 100-115.

Rodrigues, G. C., Grego, C. R., Luchiari, A., Speranza, E. A. (2019). Caracterização espacial de índices de vegetação, índice relativo de clorofila em áreas de produção cafés especiais no sul de Minas Gerais. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Vitória, ES, Brasil, 1-6.

Sartori, S., Fava, J. F. M., Domingues, E. L., Ribeiro Filho, A. C., Shiraise, L. E. (2002). Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. **World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources**, St. Joseph, Michigan, EUA, 196-205.

Sciancalepore, V., & Alviti, F. S. (1985). Preliminary study on multipleform of peroxidase from Malvasia grapes. **Lebensmittel – Wissenschaft and Technologie**, Zürich, 18, (2), 174-177.

Siegel, B.Z. (1993). Plant peroxidases: an organism perspective. **Plant Growth Regulation**. v 12. 303-312.

Souza, J. C. S., Silva, F. M., Alves, M. C. (2008). Influence of manual harvest in the spatial variability of coffee yield and defoliation along two agricultural harvests. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Foz do Iguaçu. PR, Brasil, 1-4.

USGS - United States Geological Survey (2021). **Earth Explorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 19/06/2021.