

## TÉCNICAS DE EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO APLICADAS À IDENTIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CAFEIROS EM TRÊS ALTITUDES<sup>1</sup>

Helbert Rezende de Oliveira Silveira<sup>2</sup>; Lívia Naiara de Andrade<sup>3</sup>; Kamila Rezende Dázio de Souza<sup>4</sup>; Meline de Oliveira Santos<sup>2</sup>; Cíntia Aparecida Andrade<sup>5</sup>; Sandro Costa Bomfim<sup>6</sup>; José Donizeti Alves<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Financiado pela FAPEMIG – APQ 02004-11

<sup>2</sup>Pesquisador(a), Pós Doutorando(a), EPAMIG, Lavras/MG – helbert\_rezende@yahoo.com.br; melineoli@hotmail.com

<sup>3</sup>Professora, Mestre, Instituto de Ensino Superior ‘Presidente Tancredo de Almeida Neves’ - IPTAN, São João del-Rei/MG - livia.naiara.andrade@gmail.com

<sup>4</sup>Pós Doutoranda, Fisiologia Vegetal, UFLA, Lavras/MG – krdazio@hotmail.com

<sup>5</sup>Doutoranda, Fisiologia Vegetal, UFLA, Lavras/MG – cinthia.and@hotmail.com

<sup>6</sup>Graduando Agronomia, UFLA, Lavras/MG – engsandroc@hotmail.com

<sup>7</sup>Professor, Doutor, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras/MG – jdalves@dbi.ufla.br

**RESUMO:** As características relacionadas ao desenvolvimento e frutificação do cafeeiro são altamente influenciadas pelo ambiente e, dessa maneira, tornam-se necessários estudos comportamentais da planta que permitam ampliar este conhecimento em diferentes ambientes. Objetivou-se, neste trabalho, identificar, por meio de técnicas de extração do conhecimento, o comportamento do crescimento e desenvolvimento de cafeeiros sob diferentes cotas de altitudes. Para isso, foram analisados o comprimento de ramos, número de nós, número de folhas, área foliar, número de frutos e os estádios de desenvolvimento dos frutos nas diferentes estações do ano, gerando um banco de dados de crescimento e desenvolvimento de cafeeiros em diferentes cotas de altitudes. Em seguida, um algoritmo de extração do conhecimento baseado em árvore de decisão foi utilizado para identificar o comportamento do crescimento e desenvolvimento do cafeeiro. Cafeeiros submetidos à elevada altitude apresentam maior crescimento de ramos, menor enfolhamento, e maturação mais tardia dos frutos.

**PALAVRAS-CHAVE:** mineração de dados, comportamento do cafeeiro, altitude.

## TECHNIQUES OF KNOWLEDGE EXTRATION APPLIED TO THE IDENTIFICATION OF THE BEHAVIOR OF GROWTH AND DEVELOPMENT IN COFFEE TREES IN THREE DIFFERENT ALTITUDES

**ABSTRACT:** Characteristics related to the development and fructification of coffee plants are highly influenced by the environment, and in this way, studies related to plant behavior are needed to amplify this knowledge in different environments. The aim of this study was to identify the behavior of growth and development in coffee trees from three different altitudes by using techniques of knowledge extraction. For this, we evaluated the length of branches, number of nodes, number of leaves, leaf area, the number of fruits and the developmental stages of fruits in all of the four seasons of the year. A bank of data of growth and development of coffee trees from different altitudes was generated. Then, an algorithm of knowledge extraction based on a decision tree was used for the identification of the behavior of the growth and development of coffee tree. Coffee trees which are grown in high altitude have higher growth of branches, lower number of leaves and later fruit ripening.

**KEYWORDS:** data mining, coffee tree behavior, altitude.

### INTRODUÇÃO

A altitude e a latitude constituem os fatores mais importantes para a diferenciação de regiões cafeeiras (DECAZY et al., 2003; BARBOSA et al., 2012; AVELINO et al., 2005), pois exercem influência direta sobre a temperatura, radiação, regime de chuvas, velocidade dos ventos, pressão parcial dos gases (ÔNCEL et al., 2004; ZHU et al., 2010).

É comum observar em uma mesma lavoura cafeeira implantada em regiões montanhosas, como no Sul de Minas Gerais, variações no crescimento e desenvolvimento dos componentes vegetativos e reprodutivos das plantas, dentro e entre talhões (ALVES, 2008). Nessas regiões ocorre um crescimento vegetativo rápido na estação quente e chuvosa (setembro a março) e de menor intensidade na estação seca e fria (março a setembro) (AMARAL, 1991; NACIF, 1997; ALVES; LIVRAMENTO, 2003).

A extensão do ciclo do cafeeiro e a duração dos estádios reprodutivos são influenciadas pela altitude de cultivo da lavoura. De acordo com Camargo e Camargo (2001), os estádios de formação dos frutos são bem definidos, porém podem adiantar-se ou atrasar-se, de acordo com o clima e a região, até mesmo a altitude.

A microrregião da Serra da Mantiqueira possui alta variabilidade altitudinal em um pequeno ambiente geográfico, o que possibilita o estudo das respostas dos cafeeiros nas diferentes cotas de altitudes.

Os padrões de crescimento e desenvolvimento do cafeeiro são altamente influenciados pelo ambiente e, dessa maneira, torna-se necessária a associação de estudos comportamentais da planta a técnicas e ferramentas que permitam ampliar o conhecimento sobre o seu comportamento sob diferentes cotas de altitudes, como aqueles cultivados na microrregião da Serra da Mantiqueira.

A descoberta de conhecimento em bancos de dados tem sido muito utilizada para analisar correlações entre dados, pela técnica de mineração de dados.

Assim, este trabalho objetivou identificar o comportamento do crescimento e desenvolvimento de cafeeiros cultivados em diferentes cotas de altitudes, por meio de técnicas de mineração de dados.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Seleção dos ambientes

O estudo foi realizado no município de Carmo de Minas, localizado na Serra da Mantiqueira. Sua posição é determinada pelas coordenadas geográficas de: 22°07'21" de latitude sul e 45°07'45" de longitude oeste, com temperatura média anual de 19,1 °C e índice pluviométrico anual de 1.568,9 mm. O clima do local, de acordo com a classificação de Köppen, é tropical de altitude (Cwb) com verões muito brandos e úmidos e invernos secos, com um período de estiagem de 5 a 6 meses (abril a setembro).

Foram selecionadas três cotas de altitudes: 965 m, 1.195 m e 1.430 m. A cultivar avaliada foi Bourbon Amarelo, *Coffea arabica* L. cv. Bourbon Amarelo.

As avaliações foram realizadas nas quatro estações do ano (Primavera, Verão, Outono e Inverno), no período de Setembro de 2011 a Agosto de 2012, sendo uma avaliação por estação.

### Avaliações de crescimento e desenvolvimento

As avaliações de crescimento e desenvolvimento foram realizadas no terço médio das plantas, em ramos marcados de ambos os lados da rua. Foram analisados o comprimento de ramos, número de nós, número de folhas, área foliar, número de frutos e os estádios de desenvolvimento dos frutos. Utilizaram-se oito repetições em cada cota de altitude estudada e em cada estação do ano.

O comprimento de ramos foi mensurado com a utilização de uma régua graduada medindo-se a distância do ramo plagiotrópico até a gema apical do ramo. O número de nós, folhas e frutos dos ramos foram obtidos por contagem direta. A área foliar foi estipulada pela fórmula  $AF = [(comprimento \times largura) \times 0,667]$  (BARROS et al., 1973; GOMIDE et al., 1977). Para a classificação dos estádios de desenvolvimento dos frutos utilizou-se a escala proposta por Pezzopane et al. (2003).

### Análise estatística

Para análise e interpretação dos dados foi utilizada a técnica de estatística computacional conhecida como mineração de dados. A técnica baseia-se no processo de descoberta de conhecimento proposto por Fayyad et al. (1996).

Os dados utilizados englobaram 96 instâncias da base de dados. Os atributos analisados foram:

- Avaliação: indica as estações do ano em que ocorreram as avaliações: primavera, verão, outono ou inverno;
- Número de nós: quantidade de nós que se desenvolveram no período de avaliação, representado por valores contínuos;
- Número de frutos: valores contínuos indicando a quantidade de frutos existentes no ramo;
- Crescimento de ramos: valor contínuo (em cm) representando o crescimento dos ramos em cada avaliação;
- Número de Folhas: indica o número de folhas do ramo nas diferentes avaliações;
- AF: área foliar, representada em cm<sup>2</sup>;
- Altitude: valores discretos representando as três altitudes estudadas, 965 m, 1.195 m e 1.430 m.

Os dados passaram por pré-processamentos e transformações necessárias para uso da ferramenta computacional. Na etapa de mineração de dados aplicou-se a técnica de classificação, cujo objetivo foi identificar características distintas de classes pré-definidas, baseadas num conjunto de instâncias. Utilizou-se algoritmo de classificação, baseado em árvores de decisão, uma vez que representa de forma simples e eficiente o conhecimento. Nas árvores de decisão geradas, os nós representam os atributos; as arestas os valores possíveis para cada atributo; e os nós folhas as diferentes classes de um conjunto de treinamento.

Os dados foram analisados, utilizando o software WEKA (versão 3.6.1, Universidade de Waikato, Nova Zelândia). A escolha da ferramenta foi pela facilidade de uso e sua diversidade em algoritmos de aprendizado de máquina e ferramentas relacionadas. O software oferece suporte ao processo completo de mineração de dados. O algoritmo utilizado foi o J48 (WITTEN; FRANK, 2005), um indutor de árvore de decisão disponível na ferramenta WEKA. O algoritmo J48 foi utilizado pela sua grande aceitação bem como pelo formato em que os dados se encontravam, discretos e contínuos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A leitura dessa árvore é feita, considerando o topo (nó raiz) em direção aos nós folhas, passando pelos seus ramos, de acordo com os testes nos valores dos atributos. Os nós folhas representam o objeto de estudo, ou seja, as diferentes altitudes estudadas. Cada ramo na árvore é uma conjunção de condições, assim, o percurso na árvore (da raiz à folha) corresponde a uma regra de classificação.

Para a análise de crescimento e desenvolvimento, a mineração de dados gerou um modelo exposto por meio de uma árvore de decisão (Figura 1).

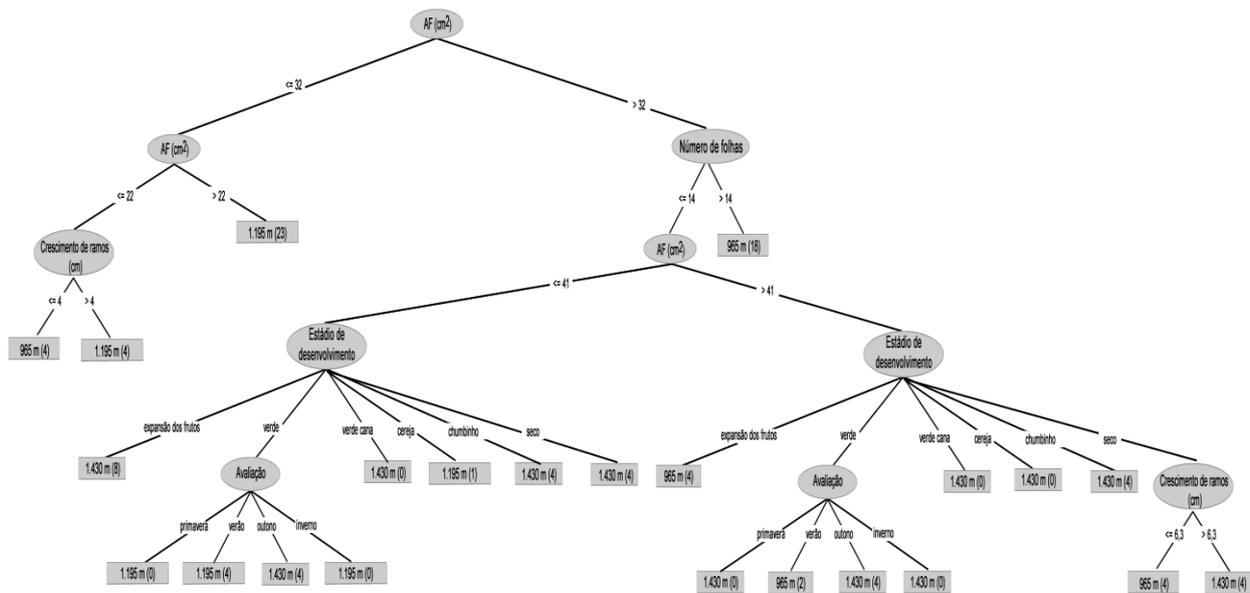


Figura 1 Modelo gerado por meio do processo de descoberta do conhecimento, utilizando dados de crescimento e desenvolvimento de cafeeiros submetidos a diferentes altitudes; 965 m, 1.195 m e 1.430 m; nas quatro estações do ano, primavera, verão, outono e inverno.

O atributo área foliar foi identificado pela mineração como parâmetro de maior separabilidade dentre todas as instâncias. A ramificação à esquerda da raiz da árvore representa cafeeiros cuja área foliar é inferior ou igual a  $32 \text{ cm}^2$ , apresentando 27 instâncias de cafeeiros, localizados em média altitude, mais especificamente a 1.195 m, e 4 instâncias de cafeeiros cultivados em baixa altitude, 965 m. Das 27 instâncias de cafeeiros de altitude intermediária, 23 possuem AF entre 23 e  $32 \text{ cm}^2$ , e apenas 4 possuem AF inferior ou igual a  $22 \text{ cm}^2$ . A ramificação à direita da árvore representa cafeeiros com área foliar superior a  $32 \text{ cm}^2$ , com instâncias de cafeeiros cultivados tanto em baixa como em alta altitude, respectivamente, a 965 e 1.430 m. Com esse comportamento, pode-se perceber que cafeeiros localizados em altitudes mais baixas e mais altas apresentaram maior área foliar do que os cafeeiros cultivados em média altitude.

Seguindo a ramificação à direita da raiz da árvore o próximo atributo identificado pela mineração foi o atributo número de folhas, que se divide em duas ramificações, separando cafeeiros com quantidade de folhas inferior ou superior a 14. Cafeeiros situados em menor altitude possuem maior número de folhas, representado por 18 instâncias.

Cafeeiros em alta altitude, com área foliar maior que  $32 \text{ cm}^2$ , apresentaram crescimento maior que 6,3 cm, enquanto que cafeeiros em baixa altitude o crescimento foi menor ou igual que 6,3 cm. Ao contrário, cafeeiros com área foliar inferior ou igual a  $22 \text{ cm}^2$  apresentaram na altitude intermediária crescimento de ramos superior a 4,0 cm e cafeeiros na menor altitude apresentaram crescimento de ramos inferior ou igual a 4 cm. Isso demonstra que cafeeiros em baixa altitude apresentam crescimento de ramos mais lento do que cafeeiros sob altitudes intermediárias e altas. Sendo assim, cafeeiros situados em baixa altitude, 965 m, apresentam menor crescimento de ramos, porém maior número de folhas.

Laviola et al. (2007) verificaram que cafeeiros em regiões de maior altitude levam mais tempo para completar o seu ciclo e que o pico de exigência em fotoassimilados destes cafeeiros é mais tardio que em regiões de menores altitudes.

O estágio de desenvolvimento chumbinho foi verificado apenas na maior altitude. Uma vez que o desenvolvimento em maiores altitudes é mais lento, o estágio de chumbinho, que é anterior à expansão dos frutos, foi visualizado apenas para essa altitude.

A cada aumento de 100 m na altitude há redução de  $1^\circ\text{C}$  na temperatura, o que pode estar correlacionada ao menor enfolhamento de cafeeiros localizados em alta altitude, a 1.430 m. Segundo Silva et al. (2004), o crescimento de

cafeeiros acompanha a flutuação da temperatura e, em condições de redução na temperatura, ocorre um menor crescimento em cafeeiros. Estes mesmos autores demonstraram que cafeeiros apresentam 78% do seu crescimento no período de crescimento ativo, que compreende estações mais quentes e chuvosas, como primavera e verão e um período de crescimento lento, que compreende estações mais frias e secas, como outono e inverno.

Seguindo pela ramificação representativa de cafeeiros com maiores valores de área foliar, neste caso à direita, destacam-se duas grandes subárvores com o atributo estágio de desenvolvimento. Esse atributo apresentou ramificações relacionadas ao estágio em que o fruto se encontrava no momento da avaliação. As ramificações identificadas como verde foram divididas entre as estações do ano em que ocorreram as avaliações.

O atributo avaliação foi identificado neste ponto pelo fato dos cafeeiros apresentarem diferentes estágios de desenvolvimento dos frutos nas diferentes altitudes em uma mesma estação do ano. No outono visualizaram-se 4 instâncias na maior altitude, a 1.430 m, em que os cafeeiros se encontravam na fase de frutos verdes. Em contrapartida, na menor e intermediária altitude, os frutos se encontravam neste mesmo estágio de desenvolvimento no verão, uma estação anterior.

Com isso verificou-se que enquanto os frutos de cafeeiros em maiores altitudes encontram-se no estágio de frutos verdes no outono, cafeeiros em altitudes mais baixas e intermediárias possuíam frutos verdes no verão, em uma estação anterior, mostrando que cafeeiros em maior altitude possuem desenvolvimento mais tardio e lento que os cultivados em baixa e intermediária altitude.

## CONCLUSÃO

Cafeeiros submetidos à elevada altitude apresentam maior crescimento de ramos e menor enfolhamento levando a uma maturação mais tardia dos frutos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, CNPq, CAPES, UFLA e IPTAN pelo suporte para execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 35-57.
- ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. Morfologia e fisiologia do cafeeiro: volume 1 Lavras. Editora da UFLA, 2003.
- AMARAL, J. A. T. Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas interações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação do nitrogênio. 1991. 139 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- AVELINO, J. et al. Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v. 85 n. 11, p. 1869–1876. Aug. 2005.
- BARBOSA, J. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 4, n. 5, p. 181-190, Mar. 2012.
- BARROS, R. S. et al. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L cv. 'Bourbon Amarelo'). *Revista Ceres*, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, mar. 1973.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- DECAZY, F. et al. Quality of different honduran coffees in relation to several environments. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 68, n. 7, p. 2356–2361, Sept. 2003.
- FAYYAD, U. et al. *Advances in knowledge discovery and data mining*. Cambridge: MIT Press, 1996.
- GOMIDE, M. B. et al. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, dez. 1977.
- LAVIOLA, B. G. et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1521-1530, nov. 2007.
- NACIF, A. P. de. Fenologia e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes, no cerrado de Patrocínio–MG. 1997. 124 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- ÔNCEL, I. et al. Role of antioxidant defense system and biochemical adaptation on stress tolerance of high mountain and steppe plants. *Acta Oecologica*, Paris, v. 26, n. 3, p. 211-218, Dec. 2004.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estágios fenológicos do cafeeiro Arábica. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.
- SANTOS, M. O. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de frutos de cafeeiros cultivados em um gradiente de altitude na Serra da Mantiqueira. 2013. 77 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

- SILVA, E. A. et al. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 89, n. 2-3, p. 349-357, Oct. 2004.
- SOUZA, V. C. O. ; CUNHA, R. L. ; ANDRADE, L. N. ; VOLPATO, M. M. L. ; CARVALHO, V. L. ; ESMIN, A. A. . Técnicas de extração de conhecimentos aplicadas a modelagem de ocorrência da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley e Cooke) em cafeeiros na região sul de Minas Gerais. *Coffee Science*, v. 8, p. 91-100, 2013.
- WITTEN, I. H.; FRANK, E. *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005.
- ZHU, J. T. et al. Ecophysiological adaptation of *Calligonum roborovskii* to decreasing soil water content along an altitudinal gradient in the Kunlun Mountains, Central Asia. *Russian Journal of Plant Physiology*, New York, v. 57, n. 6, p. 826-832, Nov. 2010.