

MÓDULO GENERALIZADO PARA RECONSTRUÇÃO E VISUALIZAÇÃO 3D DE CAFFEIROS COM FRUTOS BASEADO EM UM BANCO DE DADOS DE *Coffea arabica*

Fabio Takeshi Matsunaga², Wagner Luiz Pense³; Jacques Duílio Brancher⁴; Miroslava Rakocevic⁵

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café

² Bolsista pós-mestrado de CNPq no Departamento de Ciências de Computação, MSc, UEL, Londrina - PR, ftakematsu@gmail.com

³ Mestrando no Departamento de Ciências de Computação, UEL, Londrina – PR e suporte técnico do UNOESTE, Presidente Prudente – SP, wlpense@gmail.com

⁴ Professor no Departamento de Ciências de Computação, PhD, UEL, Londrina - PR, jacques@uel.br

⁵ Bolsista Consórcio Pesquisa Café, PhD, Embrapa Informática Agropecuária – CNPTIA, Campinas - SP, miroslava.rakocevic@colaborador.embrapa.br

RESUMO: A arquitetura de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) é descrita pelo modelo de Roux, o que indica a existência de dimorfismo de galhos. As medições de plantas foram realizadas na escala de metâmeros ou pela amostragem (medições mistas). As plantas foram codificadas em grafos em árvores multiescalares (MTG) no software VPlants. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um módulo computacional denominado Cafe3D para reconstrução de plantas de cafeeiros, permitindo sua visualização da estrutura topológica (estruturas de ramificações) e geométrica (folhas + frutos) em 3D. Para isso foi desenvolvido um banco de dados de MTG de diversos genótipos e manejo de cafeeiros, de modo que o usuário possa selecioná-los para reconstrução. Software Cafe3D permite a reconstrução e visualização 3D de todos os constituintes de cafeeiros (estrutura de galhos, folhas e frutas), com todos os atributos correspondentes. No Cafe3D, o MTG pode ser obtido do banco de dados ou pode ser algum MTG próprio gerado pelo usuário. Este MTG foi convertido em uma estrutura de dados computacional denominado EDCafe, utilizando os recursos de orientação a objetos e classes em Python. Esta estrutura genérica permitiu que o usuário especifique todos os atributos desejados. Dessa forma, o usuário não necessita ter conhecimento da estrutura semântica de um MTG, basta apenas ter conhecimento das informações topológicas e geométricas, como estruturas de ramificações e valores dos atributos foliares e de frutos, significando que com um mínimo de informações, cada usuário pode produzir as suas maquetes de cafeeiros em 3D.

PALAVRAS-CHAVE: arquitetura de plantas, frutos, reconstrução geométrica, visualização 3D, VPlants.

GENERALIZED MODULE FOR RECONSTRUCTION AND 3D VISUALIZATION OF COFFEE PLANTS WITH BERRIES BASED ON *Coffea arabica* DATABASE

ABSTRACT: The architecture of coffee arabica trees (*Coffea arabica* L.) is defined by Roux's model, which defines the existence of branch dimorphism. The plant measurements were taken at scale of metamers or by sampling (mixture measurements). Plants were codified as multiscale tree graphs (MTG) on VPlants software. The aim of this work was to develop a computational module called Cafe3D for reconstruction of coffee plants, allowing your view of the topological structure (branching structures) and geometric (leaves + fruit) in 3D. We developed a MTG database of several genotypes and management of coffee culture, permitting the user to select them for its reconstructions. Cafe3D software allows reconstruction and 3D visualization of all the constituents of coffee (structure of branches, leaves and berries), with all the correspondent attributes. In Cafe3D, the MTG can be obtained from the database or may be some MTG generated by user itself. This MTG was converted into a computer data structure called EDCafe, using the resources for orientation, objects and classes in Python. This generic structure allowed the user to specify all the desired attributes. Thus, the user need not to have knowledge of the semantic structure of a MTG, simply to be aware of the topological and geometric information, such as branching structures and values of leaf and berry traits, meaning that with a minimum of information, each user can produce their models of coffee plants in 3D.

KEYWORDS: 3D visualization, berry, geometric reconstruction, plant architecture, VPlants.

INTRODUÇÃO

A arquitetura dos cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) se caracteriza pelo modelo de Roux (Hallé et al., 1978). Este modelo consiste no dimorfismo de ramos, caracterizado pela existência dos eixos ortotrópicos e plagiotrópicos. O eixo ortotrópico caracteriza-se por ser ereto em que cada entrenó possui um par de folhas em situação cruzada com o par inferior. Já os eixos plagiotrópicos são os ramos laterais com padrão ortogonal com simetria dorsiventral

(Dengler, 1999). Há grande probabilidade de ramificação de ortotrópicos, enquanto os plagiotrópicos consistem de probabilidade de aparecimento de ramificações muito menor, estimada em ~10% em *C. canefora* (deRebye, 1981). A complexidade da arquitetura dos cafeeiros motivou o desenvolvimento de diversos estudos para a reconstrução geométrica em 3D. Rakocevic e Androcioli-Filho (2010) por exemplo, efetuaram a reconstrução 3D de cafeeiros arábica com base em codificações de medições morfológicas de plantas adultas. Essa codificação foi realizada utilizando grafos em árvores multiescalares (MTGs – Godin e Caraglio, 1998) e a reconstrução foi feita com o software VPlants, da plataforma OpenAlea (Pradal et al., 2008).

As reconstruções dos MTGs processadas pelo VPlants resultam em algumas distorções espaciais, devido a algumas limitações existentes no software. Considerando-se isso, Matsunaga e Rakocevic (2011) desenvolveram um módulo em Java denominado VirtualCafe3D. Este módulo realiza ajustes das entidades geométricas de um cafeeiro na posição e orientação espacial corretas. No entanto, mesmo que os componentes tenham sido ajustados, a visualização se limita ainda às folhas e ramificações, uma vez que estes foram os focos do VirtualCafe3D, deixando os frutos em segundo plano. Além disso o usuário necessita executar scripts em AMLPy (linguagem de modelagem arquitetural em Python - Pradal et al., 2008) separados dos MTGs gerados, o que deixava o processo de visualização mais oneroso.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um módulo computacional denominado Cafe3D, utilizando funções e métodos da linguagem AMLPy, para reconstrução de plantas de cafeeiros, permitindo sua visualização da estrutura topológica (estruturas de ramificações) e geométrica (folhas + frutos) em 3D. Para isso foi desenvolvido um banco de dados de MTGs de diversos genótipos e manejos de cafeeiros, de modo que o usuário possa selecioná-los para reconstrução. Este módulo será interligado com o software VirtualCafe3D, permitindo também a visualização de MTGs de cafeeiros de uma forma automatizada, sem que o usuário necessite criar scripts separados.

MATERIAL E MÉTODOS

As medições arquiteturais foram conduzidas em plantas adultas de cafeeiros arábica no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) Londrina (23°18' S e 51°17' W), Paraná, em dois experimentos. Um tinha comparando impactos de densidades e arranjos na arquitetura e produtividade de cafeeiros e outro as respostas de quatro genótipos na irrigação. Quatro tratamentos foram realizados no primeiro experimento, considerando duas densidades (6.000 e 10.000 plantas ha⁻¹) combinadas com dois arranjos de plantios (quadrado - Q e retangular - R). As linhas tinham orientação Leste-Oeste, com a distância entre linhas em plantio retangular de 3 m. Neste experimento foi acompanhado o cv. IAPAR 59 de 2007 a 2011, o que apresentou 7° 8° e 1° - 3° ano após de 1ª e 2ª recepa, respectivamente. O segundo experimento seguiu dois cultivares (IAPAR 59 e Catuaí IAC 99) e duas descendências dos cafeeiros da coleção trazida de Etiópia (a coleção renovada, originada de plantas matrizes obtidas de expedição de FAO na Etiópia de 1964), intituladas 'E027' e 'E083'. Mudanças originadas de sementes (2009) foram plantadas no campo em 2010, em arranjo de 2,5 m na distância entre as linhas e 0,5 m em linha, orientação de linhas foi Leste-Oeste. Os quatro genótipos foram observados desde 2011 até 2013.

As plantas dos cafeeiros foram codificadas em MTGs, cuja topologia foi decomposta em três escalas - (P), galhos (G) e metâmeros (Rakocevic & Androcioli-Filho, 2010). Na escala de metâmeros diferenciaram-se duas classes - ortotrópicos (O) e plagiotrópicos (E), permitindo a definição do dimorfismo de ramos.

Para as plantas de 2010 as medições foram realizadas em alto nível de detalhamento na escala de metâmeros, enquanto para 2011-2013, de dois experimentos, as medições realizadas consideraram o detalhamento misto pela amostragem. Em amostragem, foram selecionados quatro ramos plagiotrópicos por cada camada de 40 cm sobre o sentido vertical para serem descritos completamente na escala de metâmeros. Os demais ramos foram descritos apenas pelo comprimento total, orientação cardinal e número total de frutos verdes e maduros. Neste caso, estas plantas necessitaram ser processadas pelo software AmostraCafe3D (Rakocevic et al., 2013), para incluir as informações na escala de metâmeros nos ramos plagiotrópicos parcialmente codificados, obtendo o MTG da planta inteira como resultado. Para as medições de 2007 e 2008, a descrição arquitetural foi realizada na escala de metâmeros, em que o comprimento de cada entrenó, comprimento/largura/ângulo de elevação/orientação cardinal de folhas, número de frutos verdes e maduros e a posição/orientação de cada ramo foram descritos detalhadamente nos MTGs.

Todos os MTGs codificados foram armazenados em um banco de dados relacional, projetado em Oracle, um sistema de gerenciamento de banco de dados objeto-relacional. Este banco de dados foi utilizado também para a modelagem da relação entre as entidades das tabelas, que são os atributos dos MTGs. Esta modelagem foi feita utilizando formas normalizadas, de modo que otimize a representação dos conjuntos de dados e evite a redundância das informações (Codd, 1970). A linguagem SQL ('Structured Query Language') foi utilizada para a inserção, consulta e atualização dos dados.

O 'software' Cafe3D foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Python, com funções e métodos da biblioteca 'AMLPy', além dos recursos convencionais de orientação a objetos e classes da própria linguagem. Os recursos dessa biblioteca foram fundamentais para a implementação da lógica do 'software', como a leitura da topologia, dos componentes geométricos, como folhas e frutos. Além disso, a biblioteca cx_Oracle (2015), um

conector de banco de dados da Oracle em Python, foi utilizada para as chamadas automáticas dos MTGs armazenados na base.

A linguagem Python também foi utilizada para a reimplementação do 'software' VirtualCafe3D, inicialmente desenvolvida em linguagem Java. Para isso, foram utilizados dois pacotes do Python Excel (2015), uma para leitura ('xlrd') e outra para escrita ('xlwt') de informações de MTGs, representados por textos separados por tabulações na forma de planilhas eletrônicas. Essa reimplementação permite a sua integração com o Cafe3D, de modo que o fluxo dos processos de ajusta, reconstrução e visualização sejam feitos de modo contínuo e automático.

O PlantGLViewer foi utilizado como um ambiente de visualização 3D dos MTGs de cafeeiros e também para a geração de padrões e figuras geométricas padrões dos componentes de uma planta de cafeeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lógica do algoritmo do software Cafe3D constitui-se dos seguintes passos principais: 1) leitura do MTG, 2) leitura da topologia, 3) definição dos padrões geométricos da estrutura 3D, 4) definição das funções da estrutura da planta, 5) definição das funções geométricas (folhas e frutos) e 6) visualização. A Figura 1 ilustra o esquema dos principais passos do Cafe3D.

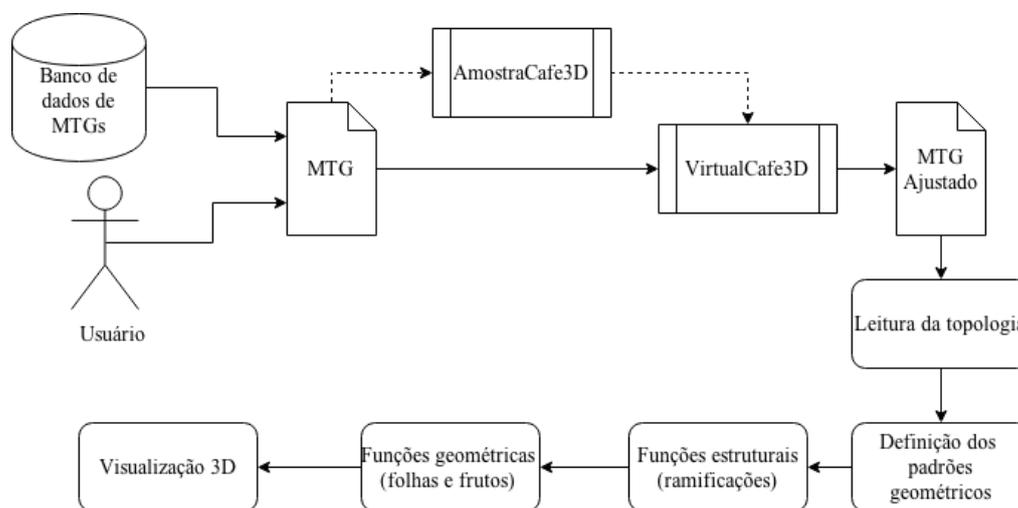


Figura 1. Diagrama dos principais passos do Cafe3D.

De acordo com o diagrama da Figura 1, o MTG pode ser obtido do banco de dados ou pode ser algum MTG próprio gerado pelo usuário. Este MTG foi convertido em uma estrutura de dados computacional denominado EDCafe (Figura 2), utilizando os recursos de orientação a objetos e classes em Python. Esta estrutura genérica permitiu que o usuário especifique todos os atributos desejados. Dessa forma, o usuário não necessita ter conhecimento da estrutura semântica de um MTG, basta apenas ter conhecimento das informações topológicas e geométricas, como estruturas de ramificações e valores dos atributos foliares e de frutos. Além disso, o usuário podia fornecer informações diferentes de um atributo foliar, em que ao invés do comprimento/largura, a área da folha é fornecida. Foi possível também que o usuário especifique ou não o diâmetro de cada entrenó.

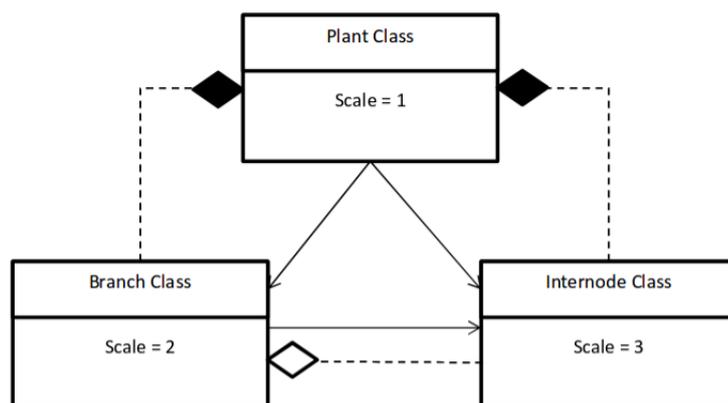


Figura 2. Modelo do EDCafe para representação genérica dos MTGs de cafeeiros.

A estrutura do EDCafe (Figura 2) é composta de três classes principais: 'Internode', 'Branch' e 'Plant', que descrevem computacionalmente as três escalas de um MTG de cafeeiro. 'Internode' representa escala de metâmeros com todos os seus atributos. 'Branch' representa um vetor de metâmeros - 'Internode(s)', que simula um galho ortotrópico ou plagiotrópico. Já 'Plant' representa a composição de vetores de galhos - 'Branch(es)', descrevendo a estrutura geral de uma planta. Essa representação permite o acesso a qualquer escala do MTG, utilizando um algoritmo recursivo que permite também a análise de plagiotrópicos de ordens superiores. No EDCafe foi escrito um algoritmo que recursivamente escreve todos os seus objetos em um arquivo, permitindo sua reconversão no formato MTG.

O MTG gerado pelo EDCafe ou obtido do banco de dados pode ou não ser processado pelo AmostraCafe3D, dependendo do nível de detalhamento da sua medição e codificação. Com o processamento por VirtualCafe3D, o MTG é geometricamente ajustado, de modo que os recursos do VPlants possa reconstruir todos os componentes geométricos na sua posição e orientação correta, gerando o MTG ajustado. A partir deste MTG, todos os vértices são extraídos e separados de acordo com a escala (planta, galho e metâmero).

Os vértices extraídos são parâmetros de funções estruturais, como comprimento, diâmetros e ângulos de elevação dos ramos, para 'PlantFrame', uma função em 'AMLPy' que define a estrutura de ramificações de uma planta de cafeeiro, montando sua estrutura topológica. No parâmetro do 'PlantFrame' é passado também um arquivo do tipo 'Dressing Data', que define os objetos geométricos padrões de entrenós, folhas e frutos. Neste caso, os entrenós foram representados por cilindros, as folhas por um hexágono formado por seis triângulos para simular as irregularidades de uma lâmina foliar, e os frutos por um elipsoide.

Após a definição estrutural, o processamento geométrico é realizado através da função 'VirtualPattern' que insere as geometrias das folhas e frutos na estrutura gerada pela 'PlantFrame', respeitando os parâmetros de comprimento (*length*), largura (*width*), diâmetro (*diameter*) e cores. Dependendo do tipo de parâmetro foliar que o usuário forneceu, uma função condicional efetuou o cálculo da alometria foliar: 1/ se tiver o valor do comprimento/largura, os parâmetros da 'VirtualPattern' seriam: $length = comprimento * \sqrt{0.685}$ e $width = largura * \sqrt{0.685}$, 2/ caso contrário, se for o valor da área foliar individual (AFI), este será proporcionalmente distribuído para o comprimento e a largura através da fórmula $length = \sqrt{(AFI/0.678/0.481481)}$ e $width = \sqrt{(AFI*0.678/0.481481)}$.

Para o processamento geométrico de frutos, foi feita uma função condicional para atribuir diferentes cores para diferenciar frutos imaturos dos maduros. Para o primeiro foi utilizada a cor verde e para o segundo a cor vermelha (padrão de um fruto maduro de cafeeiro). Este também foi uma função passada como valor do parâmetro 'Color' da função 'VirtualPattern'. Foi definido também o padrão de distribuição de frutos sobre o cilindro (entrenó de cada metâmero), em que dependendo do número total de frutos no metâmero, podem ter de 2, 3 ou até 4 frutos por fileira e até 10 fileiras por metâmero, uma vez que teoricamente, podem aparecer até 40 frutos em um metâmero.

Após a definição das folhas e frutos, é possível exibir a estrutura do MTG completa. A implementação de uma função de filtro permitiu que o usuário escolhesse o tipo de visualização desejado, caso queira visualizar somente as folhas ou somente os frutos. Um exemplo de exibição com filtros é ilustrada na Figura 3, considerando o 2º ano de produção de cv. IAPAR 59, codificados pela amostragem.

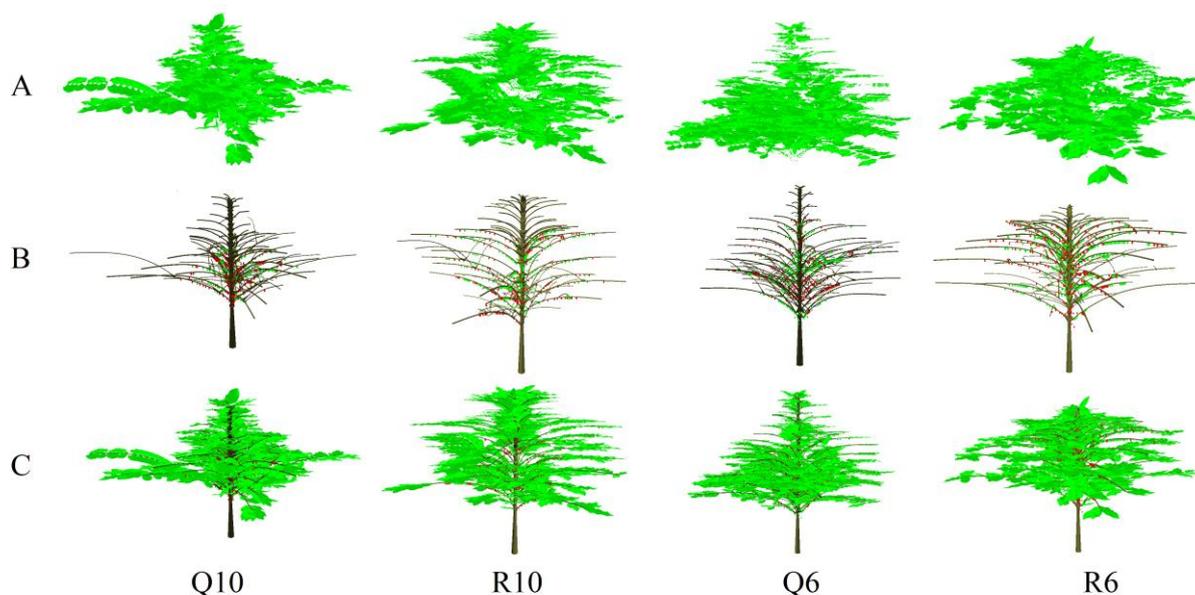


Figura 3. Imagem 2D de reconstruções em 3D com aplicação de filtros (A/ folhas, B/ frutos e C/ folhas+frutos) de plantas inteiras de cv. IAPAR 59 cultivadas em arranjos quadrado (Q) e retangular (R) e em densidade 10.000 e 6.000 plantas ha⁻¹ em momento antes de colheita em 2011 (2° ano de produção).

O usuário pode efetuar a visualização do MTG ajustado pelo AmostraCafe3D e em seguida pelo VirtualCafe3D (Figura 3). Como todos os módulos foram implementados em Python, a saída do VirtualCafe3D pode ser diretamente utilizada para o processamento através do Cafe3D, efetuando o ajuste estrutural/geométrico, reconstrução e visualização de uma forma interligada e automatizada. Além disso, a visualização com filtros implementada permite diferentes tipos de análises arquiteturais, uma vez que o usuário pode focar na análise da área foliar (Figura 3A), da produção de frutos e sua distribuição sobre a estrutura, além de diferenciar os frutos verdes e maduros por cores (Figura 3B) ou da estrutura da planta completa, considerando as folhas, os frutos e as ramificações (Figura 3C), além de outras simulações ecofisiológicas.

CONCLUSÕES

O software Cafe3D permite a reconstrução e visualização 3D de todos os constituintes dos cafeeiros (estrutura de galhos, folhas e frutos verdes e maduros), com todos os seus atributos geométricos, tais como tamanho real de folhas, dos ramos e da diferenciação por cores dos frutos verdes e maduros. Além disso, a implementação de filtros permite a análise separada de componentes específicos da planta, tais como a área foliar, estrutura de ramificações e distribuição de frutos de forma isolada, fornecendo meios de diferentes análises e simulações.

No Cafe3D, o MTG pode ser obtido do banco de dados ou pode ser algum MTG próprio gerado pelo usuário, significando que com um mínimo de informações, cada usuário pode produzir as suas maquetes de cafeeiros em 3D. O Cafe3D é um software livre de código-fonte aberto e estará disponível para qualquer pesquisador e usuário interessado na área de modelagem de cafeeiros, o que pode facilitar as visualizações e futuros cálculos e estimações ecofisiológicos de seu interesse.

AGRADECIMENTOS

Ao IAPAR que disponibilizou o campo experimental e a logística experimental no campo. Ao CNPq pela bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial para o MSc, Fabio Takeshi Matsunaga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CX_ORACLE. Disponível em: <http://cx-oracle.sourceforge.net>. Acesso em: 8 de Abril de 2015.
- DENGLER N. G. Anisophylly and dorsiventral shoot symmetry. *International Journal of Plant Sciences*, Chicago, v.160, n.S6, p.67-80, Nov. 1999.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. *Tropical trees and forests: an architectural analysis*. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 441 p.
- MATSUNAGA, F. T.; RAKOCEVIC, M. Software para ajuste da geometria na reconstrução de cafeeiros em 3D. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Araxá-MG, Ago. 2011, resumo 53, 6p.

RAKOCEVIC, M.; TOSTI, J. B.; MATSUNAGA, F. T. AmostraCafe3D – software para inclusão de informações na escala de metâmeros em eixos plagiotrópicos parcialmente codificados. In: VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Salvador, Nov. 2013, resumo 93, 6p.

PRADAL, C.; DUFOUR-KOWALSKI, S; BOUDON, F; C. e GODIN, C. OpenAlea: a visual programming and component-based software platform for plant modeling. *Functional Plant Biology*. v. 35, n. 9-10, p. 751-760, 2008.

PYTHON EXCEL. Disponível em: <http://www.python-excel.org>. Acesso em: 8 de Abril de 2015.

RAKOCEVIC, M.; ANDROCIOLI-FILHO, A. Morphophysiological characteristics of *Coffea arabica* L. in different arrangements: lessons from a 3D virtual plant approach. *Coffee Science*, v. 5, n. 2, p. 1-12, Mai./Ago. 2010.

REFFYE, Ph de. Modèle mathématique aléatoire et simulation de la croissance et de l'architecture du caféier Robusta 1^{ère} partie. Etude du fonctionnement des méristemes et de la croissance des axes végétatifs. *Café Cacao Thé*, v. 25, n. 2, p. 83-104, 1981.