

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

MODELAGEM MATEMÁTICA PARA CRIAÇÃO DE UM MODELO PARAMÉTRICO, PARA IMPRESSÃO 3D, DO DESENVOLVIMENTO DO FRUTO DE TOMATE¹

MATHEMATICAL MODELING FOR THE CREATION OF A PARAMETRIC MODEL FOR 3D PRINTING OF THE DEVELOPMENT OF TOMATO FRUIT

Maiara Andressa Streda², Manuel Osorio Binelo³, José Antonio Gonzalez da Silva⁴

¹ Dissertação em andamento desenvolvida no Mestrado em Modelagem Matemática

² Mestranda em Modelagem Matemática da Unijui

³ Prof. Doutor do Mestrado em Modelagem Matemática da Unijui

⁴ Prof. Doutor do Mestrado em Modelagem Matemática da Unijui

Resumo

O presente trabalho refere-se à pesquisa de dissertação em andamento, desenvolvida no programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Modelagem Matemática, Mestrado, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. O texto que segue consiste em um estudo de revisão sobre temas fundamentais que se relacionam ao conteúdo proposto neste trabalho. Com base na metodologia proposta, foram analisados trabalhos recentes de outros autores. Além da investigação de conceitos sobre o tomate, suas características morfológicas, história e importância econômica, o trabalho tem como foco também o processo de escâner por imagem, impressão tridimensional, modelagem paramétrica e algumas técnicas de superfícies implícitas.

Abstract

The present work refers to the dissertation research in progress, developed in the Stricto Sensu Graduate Program in Mathematical Modeling, Master, from the Regional University of the Northwest of the State of Rio Grande do Sul. The text that follows consists of a study of review of fundamental themes related to the content proposed in this work. Based on the proposed methodology, recent works by other authors were analyzed. In addition to investigating concepts about tomatoes, their morphological characteristics, history and economic importance, the work also focuses on the image scanning process, three-dimensional printing, parametric modeling and some implicit surface techniques.

Palavras-chave: Tomate; Superfícies Implícitas; Modelo Paramétrico; Impressão 3D; Fotogrametria.

Keywords: Tomato; Implicit Surfaces; Parametric Model; 3D Printing; Photogrammetry.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

INTRODUÇÃO

Na alimentação mundial, o tomate é uma das culturas mais populares e amplamente consumidas. De acordo com a botânica, o tomate é classificado como uma fruta, isso deve-se às características da polpa e das sementes. Mas é frequentemente tratado como vegetal, devido à forma como é processado e usado. O fruto de tomate é parte importante de uma dieta diversificada e equilibrada, pode ser consumido em forma de fruta fresca ou na forma de produtos processados. Ocupa a segunda posição, sendo inferior apenas ao cultivo e consumo de batatas, entre todos os vegetais produzidos nos Estados Unidos e em outras partes do mundo (GOULD, 2013).

A demanda por tomates tem aumentado significativamente nos últimos anos, e um dos motivos para tal, é a conscientização das pessoas por uma alimentação mais saudável. No ano de 2018, a produção de tomates no Brasil ultrapassou 4,11 milhões de toneladas, produzidas em uma área de pouco mais de 57 hectares, o que corresponde a um rendimento médio de 71,9 toneladas por hectare (IBGE, 2020).

A aparência dos alimentos tem grande impacto no seu consumo e valor econômico. Nesse contexto, é importante que o tomate, quando exposto nas fruteiras, chame a atenção do consumidor. Os frutos devem estar visivelmente saudáveis, com a pele lisa, sem machas, o tamanho também é importante na hora de escolher os frutos, uma vez que um fruto de tamanho normal indica que este teve um desenvolvimento saudável. Cabe ressaltar que a produção de tomates de qualidade contempla tanto a saúde do consumidor, como o produtor, que terá maior retorno financeiro (BERGOUIGNOUX, 2014; FOOLAD, 2007).

Nesse contexto, a produção de tomates de qualidade é de extrema importância, pois além de beneficiar os consumidores, que fazem parte da extremidade superior da cadeia alimentar, também traz benefícios econômicos ao produtor, que por sua vez trabalha e investe na produção esperando o melhor retorno possível (FOOLAD, 2007). É fato conhecido que o produtor é compensado apenas se seu produto, no caso o tomate, estiver em condições adequadas para ir às mesas dos consumidores, ou então para ser processado na indústria, logo, quando maior a qualidade dos frutos do tomate, maior será a renda do produtor.

A análise dos aspectos morfológicos do fruto, tais como tamanho e forma, em seus diferentes estágios de desenvolvimento, é fundamental para atingir a excelência na produção e atender as expectativas do mercado consumidor (BERGOUIGNOUX, 2014). A possibilidade de o produtor poder comparar o tomate, em qualquer fase de desenvolvimento, com modelos tridimensionais, preferencialmente físicos, consiste em uma ferramenta útil para a análise da qualidade dos frutos sendo desenvolvidos.

Por esse viés, estudos que analisem o crescimento dos frutos mostram-se relevantes, uma vez que os mesmos podem influir na qualidade final do produto, beneficiando o consumidor e também o produtor. Embora a geração de imagens digitais possa auxiliar o produtor, a criação de modelos tridimensionais concretos por meio de impressoras 3D, permitem uma percepção superior das características morfológicas do fruto. Esse artigo está inserido no contexto de uma dissertação de mestrado na qual serão obtidos dados experimentais de frutos de tomate em diferentes estágios de desenvolvimento, com o objetivo de desenvolver um modelo paramétrico que represente este desenvolvimento, para tal serão utilizadas técnicas de escaneamento 3D, superfícies implícitas e

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

também a impressão tridimensional.

Desse modo, nas próximas seções desse trabalho, é apresentado um panorama do referencial teórico abordando conceitos sobre o tomate, suas características morfológicas, história e importância econômica, também há uma seção que traz explicações sobre o escâner por imagem, e outra com informações referentes à impressão 3D. Também são explanados conceitos de modelagem paramétrica e algumas técnicas de superfícies implícitas.

O TOMATE

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) pertence à família das Solanáceas, a qual se encontra na divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, subclasse Asteridae, ordem Solanales e subordem Solanineae (FOOLAD, 2007).

Sabe-se que a família Solanáceas tem como características plantas com flor do grupo das dicotiledôneas, com espécies herbáceas e outras lenhosas, em geral com folhas alternas, simples e sem estípulas, compreendendo mais de três mil espécies (BERGOUGNOUX, 2014). Além do tomate, pertencem a esta família outras espécies bastante conhecidas, entre elas destacam-se o pimentão, a berinjela, a batata, o jiló, o tabaco e também espécies ornamentais como a petúnia. Solanum é o maior gênero da família Solanáceas, abrangendo cerca de mil e quinhentas espécies, presentes em todos os continentes temperados e tropicais, é provavelmente o gênero economicamente mais importante, contendo espécies vegetais e muitas outras espécies produzindo compostos venenosos e medicinais (BERGOUGNOUX, 2014; WEESE; BOHS, 2007).

O tomate é fruto do tomateiro, uma planta herbácea arbustiva com ramificações laterais, sendo seu caule mole e flexível o qual não suporta o peso dos frutos na posição vertical (FILHO et al., 1994; SANTOS, 2014). Por esse motivo, o tomate destinado a ser consumido fresco, *in natura*, é cultivado com tutoramento (estaqueado ou envarado), com o intuito de evitar o contato direto com o solo e dessa forma minimizar os problemas causados por doenças que atingem as folhas, flores e frutos. Para isso, utilizam-se como apoio estacas de madeira ou bambu que direcionam o crescimento da planta. Enquanto que o tomate para consumo industrial é cultivado sem tutoramento, ou seja, na forma da planta original que ocorre na forma de moita rasteira (FILHO et al., 1994; SANTOS, 2014). Porém, como já exposto, desta forma a cultura é prejudicada de forma considerável pelas pragas e doenças transmitidas pelo solo, posto isto, muitos pesquisadores apontam a técnica hidropônica como um bom método para produção de vegetais de finalidades comerciais (KHAN et al., 2017).

O tomate é um fruto carnudo e macio que possui uma cutícula quase impermeável a gases e a água (SANTOS, 2014). A estrutura do tomate é composta pelo epicarpo (pele), mesocarpo, septo, lóculo, endocarpo, feixe fibrovascular, tecido placentário e sementes. Os lóculos estão no interior dos frutos e as sementes são imersas no tecido placentário, cabe destacar que os frutos podem ter dois ou mais lóculos, dependendo da cultivar, recebendo a nomenclatura bi, tri, tetra ou pluriloculares (FERRARI, 2008; BERGOUGNOUX, 2014).

O amadurecimento dos frutos é acompanhado pelo amolecimento e alterações físico-químicas, entre elas destaca-se a degradação da clorofila, sendo que a mudança de cor é a característica mais óbvia

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

do amadurecimento do tomate (BERGOUX, 2014). Saber o momento correto para a colheita do fruto se faz fundamental para que este tenha um bom prazo de validade. Para isso, é preciso ter conhecimento dos estágios de maturação do tomate (RUPANAGUDI et al., 2014). Dependendo da destinação dos frutos (consumo *in natura* ou industrial) o ponto ótimo para a colheita muda. O primeiro sinal visual para a maturação e colheita do fruto é a mudança de cor, e o que define em qual estágio o tomate pode ser colhido consiste na distância entre o produtor e o centro de comercialização (FERRARI, 2008).

A cor dos frutos é uma das características de qualidade que recebe considerada atenção, tanto no tomate que é destinado à indústria como o que vai para o consumo *in natura*. A cor da fruta influencia a qualidade e os padrões da mercadoria processada, por sua vez, no mercado de tomate fresco, a cor da fruta tem efeito significativo na sua comercialização (FOOLAD, 2007). Além da coloração, outras características se fazem importantes para determinar a qualidade dos frutos. Incluem-se à estas características o tamanho, a forma, os sólidos totais, a firmeza, a maturação, a qualidade e o sabor nutricional da fruta (RONGA et al., 2019). As espécies cultivadas apresentam larga variedade de formas e tamanhos.

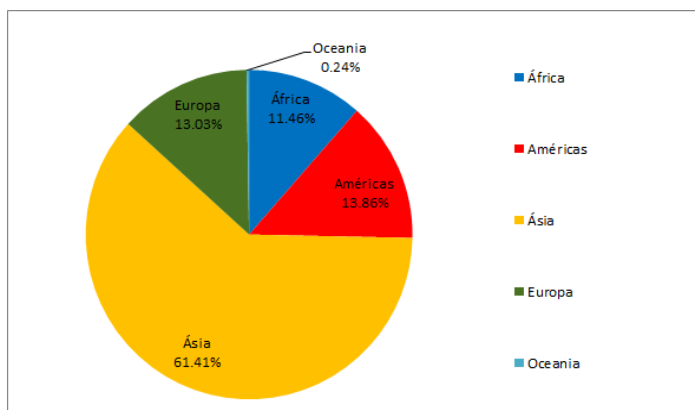
Observa-se que nas espécies selvagens, os frutos de tomate são muito pequenos, destinados a propagar as espécies e não alimentar os seres humanos (BERGOUX, 2014). Por outro lado, os tomates cultivados oferecem uma grande variação no tamanho das frutas, alternando entre o tomate cereja com menos de 20g até o tomate bovino chegando a pesar até 500g. O tamanho potencial do fruto depende do número de células que é estabelecido no estágio pré-antese, mas o tamanho final do fruto depende da taxa e duração do aumento celular. Existem também variações no formato da fruta, o qual pode ser redondo, achatado, oval, elipsóide, em forma de coração ou alongado (BERGOUX, 2014; FOOLAD, 2007).

A produção mundial de tomate aumentou significativamente nos últimos anos devido ao crescimento da população mundial, o que, conseqüentemente, resultou no aumento da demanda entre os consumidores (DIEESE, 2010). Esse aumento está relacionado diretamente à industrialização em larga escala, ao aumento da demanda de alimentos preparados nas diversas formas, principalmente, às refeições fora do domicílio e a consolidação de redes de *fast food*, que utilizam essa hortaliça nas formas processada e fresca (KHAN et al., 2017; TAHIR et al., 2012; CARVALHO et al., 2007).

A cultura do tomate é de grande expressão econômica no cenário nacional e internacional. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2020), a produção mundial de tomates em 2018 ultrapassou 182,2 milhões de toneladas, um aumento de 33,7% em comparação com o ano de 2008 na qual a produção alcançou 136,2 milhões de toneladas. Atualmente o continente asiático domina a produção mundial com mais de 61% da produção, como pode ser observado na Ilustração 01.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Ilustração 01



Fonte: (FAO, 2020)

No ano de 2018, a participação do Brasil na produção mundial foi pouco mais de 2,25%, com a produção passando de 4,11 milhões de toneladas e rendimento médio de 71,9 toneladas por hectare. Isso fez com que o Brasil ocupa-se a 10º posição no ranking mundial (Ilustração 02).

Ilustração 02

Colocação	País	Produção (em milhões de toneladas)
1º	China	61.523
2º	Índia	19.377
3º	EUA	12.612
4º	Turquia	12.150
5º	Egito	6.624
6º	Iran	6.577
7º	Itália	5.798
8º	Espanha	4.768
9º	México	4.559
10º	Brasil	4.110

Fonte: (FAO, 2020)

Apesar da sua popularidade e notável produção nos continentes asiático e europeu, o tomate é original da América. Acredita-se que as espécies de tomate selvagem sejam nativas do oeste da América do Sul, ao longo da costa e dos Andes, do centro do Equador, passando pelo Peru, até o norte do Chile (BERGOUNOUX, 2014). Tendo sido levado pelos incas até o sul do México, nas regiões habitadas por povos astecas, fazendo com que o México seja considerado o mais provável centro de domesticação do tomate. Não se sabe exatamente quando ocorreu a domesticação do fruto, porém quando os espanhóis chegaram à América, ao final do século XV, o tomateiro já era produzido no México e em vários outros locais das Américas Central e do Sul (FOOLAD, 2007).

Alguns documentos antigos apontam registros do tomate na Itália no ano de 1554, na qual descreve

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

uma variedade amarela chamada na época de *pomo d'oro* (maçã de ouro) deu origem ao conhecido molho pomodoro, usado também na França como planta ornamental, chamado "*pomme d'amour*" (maçã do amor). Já no Brasil, o tomate foi trazido pelos imigrantes europeus e o aumento do consumo ocorreu somente após a primeira guerra mundial, por volta de 1930 (SANTOS, 2014).

ESCANEAMENTO TRIDIMENSIONAL E FOTOGRAMETRIA

É notória a presença de elementos da natureza em grande parte das pesquisas que envolvem, de alguma forma, a computação gráfica. Muito tem se estudado para manter o realismo virtual destes elementos, mas devido à complexidade geométrica que estes podem apresentar, modelá-los geometricamente ainda é um grande desafio, e o processo que o envolve não é nada simples (HASANUDDIN et al., 2015).

O olho humano é treinado para identificar e traduzir uma série de padrões. O desafio atual é treinar os computadores e máquinas para que estes também possam ser capazes de perceber imagens ou padrões e traduzi-los em formas tridimensionais (LINDER, 2009). Nos últimos anos, a computação gráfica em 3D tem evoluído rapidamente. Muitos dos desafios técnicos dentro do campo foram resolvidos e a criação de objetos 3D tem sido muito procurada para uso em vários campos. Embora tenha havido muitas melhorias na questão de velocidade e precisão dos modelos, ainda existem obstáculos a serem superados (FOSTER; HALBSTEIN, 2014). Entre eles destacam-se os algoritmos que podem ser facilmente quebrados e gerar uma malha 3D com falha, problemática ou incompleta.

A computação gráfica em 3D é baseada em matemática, e por sua vez, simular formas e texturas 3D é uma área de pesquisa importante. A conexão da matemática está relacionada tanto às texturas quanto na forma dos objetos. O objetivo é usar a matemática para extrair informações das imagens (FOSTER; HALBSTEIN, 2014). Existem muitos objetos naturais que possuem estruturas que podem ser representadas por fractais usando algoritmos assistidos por computador como abordagem para gerar tal geometria de forma eficiente (LINDER, 2009).

O escaneamento tridimensional, na literatura, é citado também como engenharia reversa (RE, do inglês *Reverse Engineering*). Por sua vez, a engenharia reversa é apresentada como o oposto da engenharia convencional, uma vez que na engenharia convencional existe um modelo CAD original, ou seja, ela parte de um projeto digital para construção de modelos físicos. Já a engenharia reversa é descrita como um processo de design que vai de um modelo físico para um modelo digital e nenhum modelo CAD anterior está disponível (CHIVATE; JABLOKOW, 1995; YE et al., 2008). A RE é um processo de modelagem, muitas vezes empregado para adquirir o modelo físico na forma digital, e a partir disso poder estudá-lo, duplicá-lo, melhorar sua estrutura e aparência ou até mesmo refazê-lo. Ao combinar dispositivos analógicos, fotografia, cálculos rápidos, e algoritmos complexos, são alcançados resultados acelerados e modelos de alta precisão (FOSTER; HALBSTEIN, 2014).

De modo geral, os escâneres 3D coletam grandes quantidades de dados tridimensionais a partir da superfície de um objeto, na forma de uma nuvem de pontos ou malha poligonal (FOSTER; HALBSTEIN, 2014). Em (YE et al., 2008) são descritas as principais etapas de processamento que envolvem a engenharia reversa:

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

- Digitalização 3D de projetos físicos, geralmente gerando uma nuvem de pontos ou malha;
- Pré-processamento dos dados brutos digitalizados, essa etapa é muito importante pois as curvas e as superfícies reconstruídas são baseadas no modelo de malha. Inclui remoção de ruído, registro, alinhamento, amostragem, e malha;
- Processamento de dados da malha, essa etapa inclui alinhamento e registro de várias peças de malha, mesclagem, amostragem, suavização, reparo e preenchimento de furos;
- Reconstrução da superfície a partir de malha ou nuvem de pontos por ajuste direto da superfície ou reconstrução da superfície através de curvas como curvas de seção e linhas de recurso;
- Exportação das superfícies reconstruídas para um sistema CAD 3D para criar outros recursos e finalizar os detalhes do modelo.

Atualmente, existem vários tipos de escâneres, e cada um deles apresenta vantagens e desvantagens sobre os demais. Algumas tecnologias são ideais para escaneamento de curto alcance, enquanto que outras são melhores para escaneamento de médio ou longo alcance (LINDER, 2009). Segundo a literatura, os escâneres podem ser divididos em escâner de contato e escâner sem contato. A classificação é auto explicativa, uma vez que o escâner de contato se caracteriza pelo toque físico do escâner com o objeto, e o escâner sem contato é exatamente o oposto, no qual não há nenhuma espécie de toque entre escâner e objeto. O primeiro proporciona maior precisão, mas demanda mais tempo, e também é preciso ter cuidado para que ao tocar o objeto não o danifique. Já o segundo, o escâner sem contato, pode ainda ser dividido em dois subtipos, os de visão ativa, que por sua vez exigem a utilização de fontes de luz concentrada, como um Laser, e *hardware* especializado. E o escâner de visão passiva que funciona apenas com a visão de câmeras e identificação de pontos correlacionados (LINDER, 2009; PERES, FELINTO, 2013).

A fotogrametria pode ser definida como a “ciência da medição em fotos”, uma vez que esta ciência possibilita a geração de modelos 3D a partir de imagens bidimensionais (2D), geralmente fotografias (MAHAISAVARIYA et al., 2002). É parte integrante da geodesia, e também pertence ao campo do sensoriamento remoto (LINDER, 2009). É uma técnica que surgiu com a finalidade de, através de fotografias, fazer mapeamento e levantamento cartográfico (MAHAISAVARIYA et al., 2002). É a arte, ciência e tecnologia capaz de, a partir da interpretação de fotografias, fazer medições 3D, além de obter volumes e informações verdadeiramente confiáveis. É um campo de estudo que envolve algumas disciplinas distintas como a óptica, geometria projetiva, sensoriamento remoto e, mais recentemente, visão computacional (LINDER, 2009).

É fato conhecido que a partir de uma única foto (plano bidimensional), obtém-se apenas coordenadas bidimensionais, posto isto, para obter coordenadas tridimensionais se faz necessário um conjunto de imagens. A fotogrametria trabalha de forma semelhante ao olho humano. A visão humana é capaz de ver objetos de maneira espacial, o que permite estimar distâncias entre objetos, isto por que o cérebro sempre obtém duas imagens ligeiramente diferentes (uma do olho esquerdo, outra do direito) (ANDRADE et al., 2019).

A fotogrametria baseia-se em fotografias digitais parcialmente sobrepostas, tiradas de vários ângulos, para reconstruir facilmente coordenadas tridimensionais da superfície externa visível do objeto de

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

interesse. Juntas, as coordenadas 3D reconstruídas formam uma nuvem de pontos, a qual, com a ajuda de *softwares*, pode ser triangulada, criando uma malha 3D que ao ser renderizada gera um modelo tridimensional (EVIN et al., 2016).

A técnica da fotogrametria se sobressai aos outros métodos de escaneamento 3D por ser portátil e mais acessível financeiramente, graças à liberdade e facilidade que se tem ao capturar as imagens, exige apenas uma câmera convencional podendo ser usada até mesmo a câmera do telefone celular, e equipamento de configuração mínimos. Outra fator facilitador é o avanço no campo computacional, que armazena os dados e com ajuda de *softwares* faz toda a parte dos cálculos (EVIN et al., 2016; ANDRADE et al., 2019; LINDER, 2009).

O tempo relativamente curto necessário para a aquisição dos dados também é uma vantagem da fotogrametria. Além disso, essa técnica também é capaz de capturar a cor e a textura dos objetos de forma única, permitindo que pontos da malha possam ser observados minuciosamente (EVIN et al., 2016). Em suma, os fatores de baixo custo e acessibilidade em massa estão preparando as bases para uma ampla adoção desta tecnologia (FOSTER; HALBSTEIN, 2014).

A MANUFATURA ADITIVA COM ÊNFASE NA TECNOLOGIA FDM

Para criar uma peça ou um objeto, podem ser usados dois processos de fabricação diferentes: o processo aditivo e o subtrativo. O processo subtrativo refere-se à usinagem controlada numericamente por computador (CNC), esta técnica permite personalizar peças a partir de um bloco de material que pode ser metal, madeiras, plásticos, entre outros. Em suma, há um computador que envia informações para uma máquina (CNC), e esta realiza operações, conforme recebido, e controla movimentos (WIMPENNY; PANDEY; KUMAR, 2017). Resumidamente, essa tecnologia, consiste em remover o material necessário de um bloco para obter o objeto final e é empregada principalmente em setores de cortes de peças curvas ou com geometrias complexas (BALLETTI; BALLARIN; GUERRA, 2017).

O processo aditivo, ao contrário do CNC, pertence à família da Manufatura Aditiva (AM, do inglês *Additive Manufacturing*). Esta tecnologia consiste na adição sucessiva de camadas de material para criação de um modelo físico tridimensional (KABIR; MATHUR; SEYAM, 2019).

Inicialmente, por volta dos anos 80, essa tecnologia recebia o nome de Prototipagem Rápida, em inglês *Rapid Prototyping* (RP), e era utilizada na indústria com o objetivo de desenvolver modelos de visualização para produtos a serem desenvolvidos (BALLETTI; BALLARIN; GUERRA, 2017). Por esse motivo foi considerada um método rápido e econômico para criar protótipos além de se mostrar mais útil e prática do que apenas desenhos ou representações para compreender a finalidade do projeto conceitual e validar o design das peças. Com o passar do tempo, essa tecnologia evoluiu a ponto de as peças produzidas saírem prontas para uso, o que causou a evolução também do termo para Manufatura Aditiva (WIMPENNY; PANDEY; KUMAR, 2017).

A expressão Manufatura Aditiva não é a única empregada ao referir-se a este processo de fabricação. É comum encontrar na literatura uma grande variedade de termos e nomenclaturas diferentes, que parecem algumas vezes serem sinônimos e acabam confundindo a assimilação dos conceitos. A

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

fim de esclarecer tais concepções, buscou-se, por meio de terminologias, o estabelecimento de um padrão para tecnologias de fabricação aditiva. A ASTM (*American Society for Testing and Materials*) (ASTM, 2015) define as principais terminologias empregadas na tecnologia da AM, entre elas destaca-se o termo Manufatura Aditiva como sendo um processo de união de materiais para criar peças físicas a partir de dados de modelo 3D, geralmente camada sobre camada. Tem como sinônimos: fabricação aditiva, processos aditivos, técnicas aditivas, fabricação de camadas aditivas, fabricação de camadas e fabricação de formas livres.

Outra expressão usada é a Impressão 3D, a qual consiste na fabricação de objetos através da deposição de um material usando uma cabeça de impressão, bico ou outra tecnologia de impressora. O termo impressão 3D é frequentemente empregado como sinônimo de manufatura aditiva. Além das já citadas, outras terminologias definidas pela ASTM (2015) são Prototipagem rápida e Modelagem de deposição fundida. A primeira equilibra a fabricação aditiva de um projeto, geralmente iterativo, para testes de forma, ajuste ou funcionalidade, ou combinação dos mesmos. A segunda, também é conhecida como FDM (do inglês *Fused Deposition Modeling*) é um processo de extrusão de material usado para fazer peças termoplásticas por meio de extrusão aquecida e deposição de materiais camada por camada.

Com base no padrão estabelecido pela ASTM (ASTM, 2015) os processos de fabricação dentro da Manufatura Aditiva são classificados em sete categorias: *Binder jetting*, *Directed energy deposition*, *Material extrusion*, *Material jetting*, *Powder bed fusion*, *Sheet lamination*, *Vat photo polymerization*.

Entre essas categorias dos processos de fabricação dentro da AM, destaca-se a Modelagem de Deposição Fundida (FDM). Atualmente, esta é a técnica mais utilizada entre as impressoras, especialmente as domésticas (SINGH, 2017). É adequada para produzir peças com geometrias complexas, possui baixo custo de manutenção, baixo custo de fabricação e é de fácil operação, além de ser capaz de altas velocidades de impressão em comparação com outras técnicas de impressão 3D (BEKAS et al., 2019).

A FDM é uma tecnologia de impressão 3D baseada em extrusão, que usa como matéria prima principal um carretel de filamento termoplástico com boas propriedades de processo, como baixa temperatura de fusão e boa fluidez (VALINO et al., 2019). A FDM oferece a possibilidade de introduzir 'reforços' aos compósitos à base de polímeros (BEKAS et al., 2019). Carbono, plaquetas, fibras cortadas e fibrilas de polímero podem ser misturados com a matriz termoplástica e depois extrudadas durante a impressão. Outro método é imprimir materiais diferentes usando vários bicos (KABIR; MATHUR; SEYAM, 2019).

Para produzir uma peça, o filamento termoplástico é alimentado em uma cabeça de extrusão com temperatura controlada e aquecido até um estado semilíquido viscoso, então são extrudados pelo bico da impressora que possui um mecanismo programado que permite controlar o fluxo do material derretido, e direciona o material com precisão em camadas ultrafinas para uma base aquecida (leito de impressão) para formar camadas, à medida que o material endurece imediatamente após a extrusão (NGO et al., 2018; QI et al., 2019).

A cabeça aquecida se move pela base de impressão (eixo xy) para gerar o caminho da ferramenta para a primeira camada de material. Após a deposição da primeira camada, a plataforma de construção se move ao longo do eixo z negativo para possibilitar a deposição da camada seguinte. Cada processo

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

é realizado repetidamente até que a peça impressa em 3D seja concluída (VALINO et al., 2019; BHUSHAN; CASPERS, 2017).

Devido a sua característica de adição de camada sobre camada, a FDM pode apresentar um efeito de escada nas peças finais, deixando a superfície rugosa. Essa limitação dificulta o uso dessa técnica em aplicações industriais de precisão, como peças de montagem e fundição. Como alternativa para suavização da superfície dessas peças pode ser usado vapor quente, entretanto, essa técnica, devido as altas temperaturas, pode afetar a resistência das peças (SINGH; SINGH; SINGH, 2016).

MODELAGEM PARAMÉTRICA

Na literatura são encontradas numerosas definições diferentes para Modelagem Paramétrica (MP), devido ao fato de que cada autor usa uma definição mais apropriada para sua área, algumas são voltadas às áreas de aplicação, outras são mais técnicas, ou teóricas, e tem ainda as generalizadas (POLONINI, 2014). O termo ‘paramétrico’ se refere ao fato de que dependendo dos detalhes do modelo que se deseja gerar, o objeto pode ser, definido por mais parâmetros além de apenas largura, comprimento e altura, ele é também definido por peso, densidade, relação com outros objetos paramétricos, tempo, temperatura, entre outros (POLONINI, 2014). Quando usadas em um modelo, todas as informações podem ser adicionadas ao modelo.

A modelagem paramétrica é a forma de modelagem mais frequentemente usada, ela consiste em um processo de modelagem que tem a capacidade de alterar toda a forma da geometria do modelo apenas modificando o valor de algum parâmetro (CHUA; WONG; YEONG, 2017). Dessa forma, a principal vantagem na MP é poder configurar e reconfigurar a forma da geometria de um modelo geométrico 3D alterando parâmetros, sem ser necessário redesenhar o modelo sempre que ele precisar de uma alteração. Isso economiza muito tempo para os engenheiros, especialmente na fase de design do esquema (FU, 2018).

Os modelos paramétricos são baseados inicialmente por um vetor de parâmetros a , e conseqüentemente, dado um vetor a partir de observações da entrada e saída do processo a ser modelado, então obtém-se os parâmetros do modelo que melhor descrevem o processo (OGATA, 2004) apud (BEERBAUM et al., 2016). Em termos resumidos, modelos paramétricos são modelos que possuem um número finito de parâmetros.

Modelagem paramétrica pode ser definida como o processo de modelagem no qual o usuário pode construir e controlar um metamodelo de um objeto através da parametrização de atributos e da configuração de restrições (POLONINI, 2014).

Atualmente, o desenvolvimento de sistemas de modelagem geométrica continua em ritmo acelerado. Assim como os sistemas baseados em restrições e em recursos desenvolvidos a partir de modeladores sólidos básicos (AULT, 2009). As superfícies implícitas têm recebido maior atenção na criação (design) e na animação de objetos 3D, pois apresentam vantagens úteis sobre as superfícies paramétricas tradicionais. As superfícies implicitamente definidas possuem alguns atributos únicos e úteis para modelagem, como propriedades de mesclagem e restrição (SHEN; THALMANN, 1995). São exemplos de subconjuntos de superfícies implícitas: Splines, Cilindros Generalizados e

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Metaballs.

Para que um programa tenha capacidade de modelar geometrias complexas é necessário a utilização de curvas complexas, uma boa opção são as curvas splines. A simplicidade da representação e a facilidade dentro da forma complexa da spline pode ser computada e fazer com que as splines sejam representações populares para curvas na ciência da computação e engenharia informática, sendo fortemente empregada na computação gráfica, e também para outros tipos de interpolação (BOUDCHICHE; MAZROUI, 2020).

As funções spline são usadas para aproximar uma função ou interpolar dados, de fato, a simplicidade de suas expressões facilita sua implementação (BOUDCHICHE; MAZROUI, 2020). Uma spline é uma curva definida matematicamente por dois ou mais pontos de controle. Os pontos de controle que ficam na curva são chamados de nós, e os demais pontos definem a tangente à curva em seus respectivos nós (AVERBUCH; NEITTAANMÄKI; ZHELUDEV, 2014).

O cilindro generalizado (GC, do inglês *Generalised Cylinder*) é uma técnica de modelagem adotada para projetar formas semelhantes a tubos cujas superfícies são construídas sobre estruturas esqueléticas compostas por uma sequência finita de contornos (curvas transversais 2D) que são sistematicamente organizadas em uma curva da coluna 3D (LEE, 2005). Os GCs fornecem uma ferramenta útil para a modelagem e animação de objetos flexíveis com formato tubular (CHANG et al., 1998).

Um cilindro generalizado é um objeto 3D definido a partir do movimento de um contorno 2D ao longo de uma trajetória 3D. Isto é, uma curva da coluna vertebral e uma sequência de curvas de contorno (LEE, 2005). A forma da superfície de um cilindro generalizado é determinada pela deformação e o movimento espacial de uma curva transversal (CHANG et al., 1998). As texturas de reação e diâmetros de reação são mapeadas nas superfícies dos GCs para dar a aparência adequada, por sua vez, a visualização é feita por traçado de raios, e isto resulta em imagens muito realistas (HELM; EBELL; BRONSVOORT, 1998).

As metaballs, também conhecidas como metablobs, são formas de gráficos de computador que têm uma aparência orgânica e macia, são apresentados como nuvens de pontos ou superfícies geralmente implícitas (RILLING; MUDUR, 2002). Metaballs são propriedades populares em computação gráfica, é uma técnica que envolve funções implícitas que trabalham como fontes de potencial (PARK, 1993).

Uma metaball é definida a partir de um dado ponto central em um campo de densidade variável tridimensional. O valor do campo pode variar linearmente com a distância do centro ou de qualquer outra maneira expressável por meio de uma fórmula matemática (RILLING; MUDUR, 2002). Pode-se considerar que cada metaball é uma partícula que tem determinada energia (força) e influência sobre as partículas circundantes e vizinhas. Se duas ou mais metaballs são construídas próximas umas das outras para que se sobreponham, elas grudam, se conectam e seus campos são adicionados em um processo de fusão, produzindo assim um campo composto, e este passa a reproduzir uma superfície composta (RILLING; MUDUR, 2002).

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da vasta evolução que vem se apresentando no contexto tecnológico, tanto do escaneamento como na impressão 3D, o cenário atual vem se modificando. Diante disso, a presente pesquisa buscou apresentar o que são essas técnicas e como evoluíram para chegar a tal.

Considerando o fato de que a aparência dos alimentos tem grande impacto no seu consumo e valor econômico, é importante que o tomate, quando exposto nas fruteiras, chame a atenção do consumidor. A produção de tomates de qualidade contempla tanto a saúde do consumidor, como o produtor, que terá maior retorno financeiro. Muitos estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de melhorar a genética dos frutos produzidos, além de aspectos morfológicos, como tamanho, forma e cor dos frutos visando aliar quantidade e qualidade. Há pesquisas relacionadas ao crescimento das plantas de tomate, e outras sobre o desenvolvimento dos frutos, mas trabalhos que aliam o crescimento de frutos de tomate à técnicas de escaneamento, modelagem paramétrica e impressão 3D ainda são escassos na literatura.

A pesquisa realizada buscou conceituar a produção de tomates no Brasil e no mundo, bem como as principais características da planta e seu fruto. Não obstante, buscou-se identificar as diferentes técnicas de escaneamento e impressão 3D sendo consideradas para este trabalho a tecnologia da fotogrametria e o processo de impressão de modelagem de deposição fundida (FDM). Também foram analisadas as características da modelagem paramétrica e algumas técnicas de superfícies implícitas como Splines, Cilindros Generalizados e Metaballs.

Dessa maneira, o presente estudo levantou e discutiu as questões acerca das reflexões e argumentos existentes, sob o ponto de vista científico, da produção de tomates e técnicas de modelagem. Assim posto, não se teve como pretensão o esgotamento do assunto, mas o intuito de despertar a atenção dos pesquisadores para a importância desta temática no campo da pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. M. d. et al. Identificação da espiral de fibonacci no padrão de crescimento vegetal por meio de modelo 3d virtual obtido através de fotogrametria digital. **Blucher Design Proceedings**. Blucher, 2019.

ASTM, I. Astm52900-15 standard terminology for additive manufacturing—general principles—terminology. **ASTM International**, West Conshohocken, PA, 2015.

AULT, H. K. 3-d geometric modeling for the 21st century. **Engineering Design Graphics Journal**, v. 63, n. 2, 2009.

AVERBUCH, A. Z.; NEITTAANMÄKI, P.; ZHELUDEV, V. A. **Spline and spline wavelet methods with applications to signal and image processing**. [S.l.]: Springer, 2014.

BALLETTI, C.; BALLARIN, M.; GUERRA, F. 3d printing: State of the art and future perspectives. **Journal of Cultural Heritage**, Elsevier, v. 26, p. 172–182, 2017.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

BEERBAUM, A. V. et al. **Estudo teórico da construção de modelos matemáticos autorregressivos e comparação com modelos analíticos para a predição do tempo de vida de baterias que alimentam dispositivos móveis.** 2016.

BEKAS, D. et al. 3d printing to enable multifunctionality in polymer-based composites: A review. **Composites Part B: Engineering**, Elsevier, p. 107540, 2019.

BERGOUGNOUX, V. The history of tomato: from domestication to biopharming. **Biotechnology advances**, Elsevier, v. 32, n. 1, p. 170–189, 2014.

BHUSHAN, B.; CASPERS, M. An overview of additive manufacturing (3d printing) for microfabrication. **Microsystem Technologies**, Springer, v. 23, n. 4, p. 1117–1124, 2017.

BOUDCHICHE, M.; MAZROUI, A. Spline functions for arabic morphological disambiguation. **Applied Computing and Informatics**, Elsevier, 2020.

CARVALHO, C. et al. **Anuário brasileiro do tomate.** Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta, 2016. 84p. 2017.

CHANG, T.-I. et al. Direct manipulation of generalized cylinders based on b-spline motion. **The Visual Computer**, Springer-Verlag, v. 14, n. 5-6, p. 228–239, 1998.

CHIVATE, P. N.; JABLOKOW, A. G. Review of surface representations and fitting for reverse engineering. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 193–204, 1995.

CHUA, C. K.; WONG, C. H.; YEONG, W. Y. **Standards, quality control, and measurement sciences in 3D printing and additive manufacturing.** [S.l.]: Academic Press, 2017.

DIEESE, A. **A produção mundial e brasileira de tomate.** [S.l.]: DIEESE-Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos . . . , 2010.

EVIN, A. et al. The use of close-range photogrammetry in zooarchaeology: Creating accurate 3d models of wolf crania to study dog domestication. **Journal of Archaeological Science: Reports**, Elsevier, v. 9, p. 87–93, 2016.

FAO. **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.** 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>.

FERRARI, A. A. **Caracterização química de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) empregando análise por ativação neutrônica instrumental.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2008.

FILHO, W. P. de C. et al. Evolução da produção de tomate no Brasil. **Agricultura em São Paulo**, Instituto de Economia Agrícola, Secretaria da Agricultura, v. 41, p. 41, 1994.

FOOLAD, M. R. Genome mapping and molecular breeding of tomato. **International Journal of Plant Genomics**, Hindawi, v. 2007, 2007.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

FOSTER, S.; HALBSTEIN, D. **Integrating 3D modeling, photogrammetry and design.** [S.l.]: Springer, 2014.

FU, F. **Design and analysis of tall and complex structures.** [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2018.

GOULD, W. A. **Tomato production, processing and technology.** [S.l.]: Elsevier, 2013.

HASANUDDIN, M. O. et al. 3d scanner for orthodontic using triangulation method. In: IEEE. 2015 **International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI).** [S.l.], 2015. p. 360–364.

HELM, A. van der; EBELL, P.; BRONSVOORT, W. F. Modelling mollusc shells with generalized cylinders. **Computers & Graphics**, Elsevier, v. 22, n. 4, p. 505–513, 1998.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br>>.

KABIR, S. F.; MATHUR, K.; SEYAM, A.-F. M. A critical review on 3d printed continuous fiber-reinforced composites: history, mechanism, materials and properties. **Composite Structures**, Elsevier, p. 111476, 2019.

KHAN, M. A. et al. Morphological and physico-biochemical characterization of various tomato cultivars in a simplified soilless media. **Annals of Agricultural Sciences**, Elsevier, v. 62, n. 2, p. 139–143, 2017.

LEE, J.-H. Modeling generalized cylinders using direction map representation. **Computer-Aided Design**, Elsevier, v. 37, n. 8, p. 837–846, 2005.

LINDER, W. **Digital photogrammetry.** [S.l.]: Springer, 2009.

MAHAISAVARIYA, B. et al. Morphological study of the proximal femur: a new method of geometrical assessment using 3-dimensional reverse engineering. **Medical engineering & physics**, Elsevier, v. 24, n. 9, p. 617–622, 2002.

NGO, T. D. et al. Additive manufacturing (3d printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, Elsevier, v. 143, p. 172–196, 2018.

PARK, J. A dinosaur returns: metaballs. **Computer-Aided Design**, v. 25, n. 11, 1993.

PERES, F. O.; FELINTO, A. S. **Scanner 3d:** Problemas e soluções. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Bacharelado em Ciência da Computação—Universidade Estadual de Londrina, 2013.

POLONINI, F. B. d. S. **A modelagem paramétrica na concepção de formas curvilíneas da arquitetura contemporânea.** Faculdade de Arquitetura, 2014.

QI, X. et al. Applying neural-network-based machine learning to additive manufacturing: Current applications, challenges, and future perspectives. **Engineering**, Elsevier, 2019.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

RILLING, J.; MUDUR, S. P. On the use of metaballs to visually map source code structures and analysis results onto 3d space. In: IEEE. **Ninth Working Conference on Reverse Engineering**, 2002. Proceedings. [S.l.], 2002. p. 299–308.

RONGA, D. et al. Changes in yield components, morphological, physiological and fruit quality traits in processing tomato cultivated in Italy since the 1930's. **Scientia horticulturae**, Elsevier, v. 257, p. 108726, 2019.

RUPANAGUDI, S. R. et al. A cost effective tomato maturity grading system using image processing for farmers. In: IEEE. 2014 **International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)**. [S.l.], 2014. p. 7–12.

SANTOS, G. G. **Qualidade físico-química, microbiológica e ocorrência de micotoxinas de alternaria alternata em derivados de tomate**. 2014

SHEN, J.; THALMANN, D. **Interactive shape design using metaballs and splines**. [S.l.], 1995.

SINGH, R.; SINGH, S.; SINGH, I. P. Effect of hot vapor smoothing process on surface hardness of fused deposition modeling parts. **3D Printing and Additive Manufacturing**, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, v. 3, n. 2, p. 128–133, 2016.

SINGH, S.; RAMAKRISHNA, S.; SINGH, R. Material issues in additive manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Processes**, Elsevier, v. 25, p. 185–200, 2017.

TAHIR, A. et al. An overview of tomato economy of Pakistan: comparative analysis. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, AsiaNet Pakistan (Pvt) Ltd., v. 25, n. 4, 2012.

VALINO, A. D. et al. Advances in 3d printing of thermoplastic polymer composites and nanocomposites. **Progress in Polymer Science**, Elsevier, p. 101162, 2019.

WEESE, T. L.; BOHS, L. A three-gene phylogeny of the genus solanum (solanaceae). **Systematic Botany**, American Society of Plant Taxonomists, v. 32, n. 2, p. 445–463, 2007.

WIMPENNY, D. I.; PANDEY, P. M.; KUMAR, L. J. **Advances in 3D printing & additive manufacturing technologies**. [S.l.]: Springer, 2017.

YE, X. et al. Reverse innovative design—an integrated product design methodology. **Computer-aided design**, Elsevier, v. 40, n. 7, p. 812–827, 2008.