

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação

Larissa Dolabella Gomide

MONOGRAFIA EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

**ALGORITMOS GENERATIVOS E ARTES APLICADAS:**  
**Desenvolvendo uma coleção de joias**

Belo Horizonte  
2021 / 2º semestre

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Ciência da Computação  
Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação

**ALGORITMOS GENERATIVOS E ARTES APLICADAS:  
Desenvolvendo uma coleção de joias**

por

Larissa Dolabella Gomide

Monografia em Sistema de Informação

Apresentado como requisito da disciplina de Monografia em  
Sistemas de Informação do Curso de Bacharelado em Sistemas de  
Informação da UFMG

Prof. Dr. Wagner Meira Júnior  
Orientador(a)

Belo Horizonte  
2021 / 2º semestre

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida e da inteligência, por estar agora concludo mais uma etapa na minha vida, e várias outras coisas que não cabem numa folha de papel. Agradeço a todos os professores que de alguma forma contribuíram com seus conhecimentos, por me ensinarem a pensar, ser criativa e ter senso crítico. Em especial ao meu professor orientador: Wagner Meira Júnior, por aceitar trabalhar um tema inusitado e a professora Márcia Luiza França da Silva, que ajudou com os aspectos de design e prototipação do trabalho. Além disso, agradeço a Natália Neto Rosa, do Laboratório de Experimentação Tridimensional, por se dispor a prototipar, através de impressão 3D, algumas peças desenvolvidas no trabalho. Agradeço aos meus pais, pelo amor incondicional. E ao meu namorado Gabriel, por me ajudar ao longo do curso e pelas várias revisões de texto que solicitei que ele fizesse.

"What we really need is a new  
bread of artist computer scientist."

Michael Noll

## **RESUMO**

O presente trabalho trata sobre como algoritmos generativos que são usados para a produção de artes plásticas podem ser usados de maneira análoga para a criação de designs de joias. Ao longo do texto são abordados detalhes sobre as etapas de revisão da literatura, análises das ferramentas, implementação e avaliação. Elas por sua vez tratam, respectivamente, dos principais artigos relacionados avaliando quais os algoritmos utilizados, interfaces de desenvolvimento e métodos de avaliações utilizados; análise e escolha de interface de desenvolvimento; implementação dos algoritmos do Jogo da Vida de Conway e *Diffusion Limited Aggregation* e a avaliação do código e da estética das peças geradas. Os resultados obtidos até então são uma amostra do potencial do uso de código para a criação de design de joias, com variabilidade estética.

**Palavras-chave:** **design generativo, algoritmos, estética, design de joias, 3D**

## **ABSTRACT**

This monograph is about how generative algorithms are used in the production of visual arts and how they can also be applied to jewelry design. Throughout this text we cover related works, tool analysis, implementation and evaluation. Which discusses, respectively: the main articles related, while reviewing the algorithms used and interface choices; implementation of Conway's game of Life and *Diffusion Limited Aggregation* and finally about code and aesthetics evaluation. The resulting work shows the potential of using generative algorithms and code to create jewelry with aesthetical diversity.

**Keywords:** generative design, algorithms, aesthetics, jewelry design, 3D

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	8
2.	JUSTIFICATIVA.....	9
3.	OBJETIVOS.....	10
A.	OBJETIVO GERAL:.....	10
B.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	10
4.	METODOLOGIA .....	10
MONOGRAFIA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO – PARTE 1 .....		11
5.	REVISÃO DA LITERATURA .....	11
6.	ESTUDO DE FERRAMENTAS 3D .....	25
7.	CÓDIGO.....	29
8.	PEÇAS .....	32
9.	CONCLUSÃO – PARTE 1 .....	34
MONOGRAFIA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO – PARTE 2 .....		35
10.	INTRODUÇÃO .....	35
11.	CÓDIGO.....	35
A.	DLA – DIFUSION LIMITED AGGREGATION .....	37
B.	JVC – JOGO DA VIDA DE CONWAY.....	41
C.	DOCUMENTAÇÃO DO CÓDIGO.....	44
12.	PEÇAS .....	45
13.	AVALIAÇÃO .....	52
14.	CONCLUSÃO – PARTE 2 .....	66
15.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

## 1. Introdução

A ciência da computação é uma área interdisciplinar, sendo notável a sua contribuição para as mais diversas áreas: desde a saúde até entretenimento. Da mesma forma, a computação tem muito a contribuir com a joalheria. Por meio deste trabalho, portanto, pretende-se aproximar as áreas de computação e design por meio da inovação dos processos de um mercado tradicional.

O conceito de joia foi modelado ao longo da história: à medida que se passou a utilizar metais e pedras denominadas preciosas (raras) para a confecção de adornos, estes adornos passaram a serem chamados de joias. (SANTOS, 2017). Apesar da evolução, ao longo do tempo e a adoção de novas tecnologias como *softwares* de Computer Aided Design (CAD), a joalheria ainda apresenta um processo artesanal que passa idealmente pelas seguintes etapas: 1) Desenhos manuais em papel 2) Modelagem de um dos desenhos (à escolha) da etapa anterior por meio de *softwares* de CAD 3) Modelagem ou prototipação da peça<sup>1</sup> 4) Fundição 5) Finalização da peça (que por sua vez pode envolver outros processos como cravação, gravação, texturização, entre outros) (SANTOS, 2017), (SENAI, 2015) e (CARVALHO et al., 2012).

Já a computação, por sua vez, trabalha a automatização através de *hardware* e *software*. Sendo que este último, trabalha através de algoritmos, que informalmente podem ser entendidos como um conjunto de instruções (ALVIM, 2020), os algoritmos que permitem gerar artefatos como trabalhos de arte são chamados generativos. A abrangência destes sistemas permite a criação de arte generativa que por sua vez proporciona o desenvolvimento de uma grande quantidade e variedade de designs (TRAUTMANN, 2021) e (KIELAROVA, PRADUJPHONGPHET, BOHEZ, 2013). Portanto, cabe aos sistemas generativos criarem artefatos com estéticas diferentes, sendo estética, segundo o dicionário Michaelis, o “Estudo que determina o caráter do belo nas produções artísticas” (MICHAELIS, 2002). Tais sistemas fazem isso através de entradas distintas ou ainda por meio dos algoritmos que os compõe, pois enquanto um algoritmo pode explorar a recursividade outro pode trabalhar com gramáticas de formas, produzindo resultados esteticamente distintos.

---

<sup>1</sup> Tradicionalmente a peça é modelada em cera, e a partir desse modelo são feitos moldes e/ou árvores de cera que então será usada para a fabricação das peças em metal. O nome deste processo é fundição por cera perdida. Outra técnica que vem sendo utilizada é a chamada prototipagem rápida em que as peças são impressas em 3D para então serem forjadas.

A arte generativa, segundo (BODEN e EDMONDS, 2009), desde os primórdios da área, vem sendo usada como sinônimo de arte computacional. No entanto, os autores, ao longo do referido artigo, destrincham as artes computacionais e propõem 11 categorias<sup>2</sup>, que se distinguem pela forma que constroem novos trabalhos de arte. A definição do artigo que nos interessa para o desenvolvimento deste trabalho é a da chamada CG- art (*Computer Generated Art*) que é descrita como “o trabalho de arte que resulta de algum programa de computador que foi deixado rodando por si só, com mínima ou zero interferência humana” (BODEN e EDMONDS, 2009, tradução nossa).

Assim, tendo em vista o potencial de automatização que a computação traz, elabora-se o presente projeto de conclusão de curso que pretende automatizar o processo de criação e desenvolvimento de designs de joias. A proposta desse trabalho consiste, portanto, em eliminar a etapa de desenhos manuais em papel (1) e ressignificar o uso de softwares CAD (2), o que por sua vez seria feito através de algoritmos generativos.

## **2. Justificativa**

A joalheria é uma forma de arte a qual se encontra em sintonia com movimentos como o barroco, renascentismo, arte nouveau, arte déco, entre outros. É uma forma de expressar pensamentos e sentimentos, histórias (SANTOS, 2017), e personalidades tanto de quem as imaginou quanto de quem as usa. Tal área apresenta uma dualidade, já que ao mesmo tempo em que apresenta processos tradicionais que envolvem designers e artesãos, ela busca atender as expectativas do mercado de luxo que demanda inovação, exclusividade e experiências diferenciadas. Dessa forma o presente trabalho, conforme falado por (TRAUTMANN, 2021), permite aos designers, cumprirem os requisitos de exclusividade, pois a repetibilidade do design é determinada por parâmetros, ou seja, o designer ao executar o programa responsável por gerar as peças de joias não terá os mesmos resultados, a menos que tenha precisamente as mesmas entradas. Além de trazer características inovadoras já que o design generativo não se assemelha aos designs projetados por humanos (BODEN e EDMONDS, 2009) e (TRAUTMANN, 2021), ao apresentar formas orgânicas e/ou modeladas através de artefatos algorítmicos e matemáticos como computação evolutiva e fractais, respectivamente.

---

<sup>2</sup> São os 11 tipos de arte definidos pelo artigo: Ele-art (Arte eletrônica), C-art (Arte computadorizada), D-art (Arte digital), CA-art (Arte assistida por computador), G-art (Arte generativa), CG -art (Arte generativa computadorizada), Evo-art (Arte evolucionária), R-art (Arte robótica), I- art (Arte interativa), CI-art (Arte computadorizada interativa), VR-art (Arte de realidade virtual). Note que os conceitos de G-art e CG-art parecem bem similares, no entanto a G-art não precisa ser realizada por computador, sendo assim um conceito mais abrangente.

### **3. Objetivos**

#### **a. Objetivo geral:**

Buscar novas formas de gerar designs de joias por meio de algoritmos generativos e propiciar diversidade estética.

#### **b. Objetivos específicos:**

- Estudar e sistematizar os algoritmos de design generativos já existentes
- Projetar e implementar o algoritmo generativo responsável por gerar possibilidades de design de joias
- Aplicar e avaliar o algoritmo, fazendo uma seleção dos *outputs* com estética relevante

### **4. Metodologia**

Esta é uma pesquisa mista, a partir da qual se pretendente produzir tanto um artigo quanto um protótipo. O protótipo por sua vez tem duas perspectivas, o protótipo de um sistema generativo e o protótipo da coleção em si. Dentre as etapas para a execução desse projeto temos:

- 1) Revisão da literatura, que contará com pesquisas em fontes primárias como artigos e dissertações e fontes secundárias como livros e manuais, além de sites e blogues.
- 2) Estudo de ferramentas 3D, neste passo analisarei os pontos positivos e negativos do uso de diferentes ferramentas de modelagem 3D. Creio que este passo é necessário na medida que, em pesquisas preliminares dois *softwares* se destacaram para o desenvolvimento de produtos generativos a saber: o Rhinoceros 3D e o Blender.
- 3) Estruturar o código, nessa etapa seriam efetuadas o projeto do *software*, implementação de algoritmos e testes preliminares de *software*.
- 4) Desenvolver as peças, nesta etapa o código seria executado e gerado várias possibilidades de design distintas, um desses designs seria selecionado e apresentado como resultado. O conjunto de peças selecionadas iria compor a coleção oficial resultante do trabalho.
- 5) Vídeo, as peças selecionadas seriam apresentadas em um vídeo.
- 6) Protótipo, as peças selecionadas poderiam ser impressas em 3D, em laboratórios da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Demonstrando assim a viabilidade de confecção das peças geradas por computador.

7) Avaliação dos resultados. Ela é inspirada por trabalhos no campo de criatividade computacional. No trabalho de (COLTON, 2011), o autor apresenta as dificuldades em se avaliar sistemas criativos, e apresenta como solução avaliar os trabalhos levando em consideração duas perspectivas distintas: a do artefato produzido e a do processo que o gerou. Como este trabalho é requisito para obtenção do título de bacharel de sistemas de informação, é natural que o processo generativo, que por sua vez envolve *software* e conceitos computacionais apresente maior relevância que a perspectiva do artefato gerado.

Já sobre a ótica da avaliação estética 3 abordagens se destacaram: utilizar as próprias pessoas como forma de avaliar o valor estético do trabalho sendo tratada em artigos como: (SANSRI e KIELAROVA, 2018) e (KIELAROVA, PRADUPHONGPHET, BOHEZ, 2013), *eye tracking* ou rastreamento do movimento ocular dos usuários (LIU et. al, 2020) e (KHALIGHY, 2015) e a do artigo de (KATO e MATSUMOTO, 2020).

## **MONOGRAFIA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO – PARTE 1**

### **5. Revisão da literatura**

#### **Artigos publicados:**

Os artigos de interesse para este trabalho envolvem os campos (visão macro) de criatividade computacional e arte generativa. Os artigos de criatividade computacional estudam a viabilidade de se criar um sistema efetivamente criativo, a automatização de escritores, comediantes e arte. Tal área está especialmente relacionada ao campo de inteligência artificial. Já os artigos de arte generativa estudam formas de se criar peças de arte por meio de código, robôs ou outros dispositivos eletrônicos podendo incluir ou não o uso de inteligência artificial. E, finalmente, existe um conjunto de artigos (visão micro) que estudam a aplicação de algoritmos generativos para a personalização de designs e produtos, e desse subconjunto há alguns exemplares que focam especificamente no design de joias.

O principal grupo de estudos acerca de criatividade computacional é o *Computational Creativity Group* da Universidade de Londres. No artigo “*Computational Creativity: The final frontier?*” Eles definem a criatividade computacional como sendo: “A filosofia, ciência e engenharia de sistemas computacionais que, ao assumir responsabilidades particulares exibe comportamento que observadores não-enviesados considerariam ser criativo” (COLTON et al.,2012, tradução nossa).”. O grupo ainda faz

estudos sobre questões filosóficas como se um computador pode ou não ser efetivamente criativo, combinam tecnologias para a construção de sistemas criativos e autônomos como o *The painting fool* (<http://www.thepaintingfool.com/>) e propõe formas de avaliar trabalhos por eles desenvolvidos.

Alguns dos artigos do grupo londrino se baseiam em trabalhos de Margaret Boden que estuda, dentre outros assuntos, modelos computacionais criativos e arte generativa. No artigo “*What is generative art?*” em que Boden apresenta o conceito supracitado de arte generativa, ao apresentar 11 tipos de arte computacional, também apresenta as principais técnicas de gerar artes generativas ou CG-art à saber: autômatos celulares, L-systems, e programação evolucionaria (no artigo detalhada como Evo-art) que por sua vez usa os chamados algoritmos genéticos. Outros artigos como (FISCHER e HERR, 2001) e (JAISAWAL e AGRAWAL, 2021) abordam o design generativo sob outras óticas, respectivamente: como ensinar design generativo, e uma pesquisa sobre o estado da arte do design generativo. Este último inclui algoritmos generativos da perspectiva topológica que não faz parte do escopo deste trabalho. Desses dois últimos trabalhos mencionados são relevantes os conceitos de *shape grammars* e *modelagem swarm*. Portanto as técnicas de: autômatos celulares, L-systems, programação evolucionária, *shape grammars* e modelagem *swarm* compõe o portfólio de ferramentas generativas do presente trabalho. As definições desses conceitos são dadas a seguir:

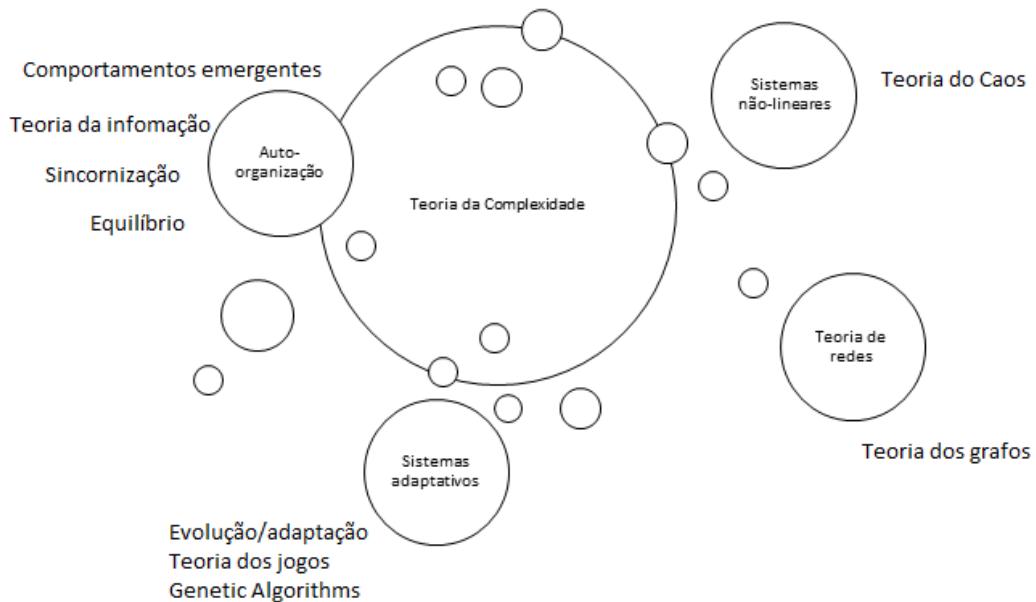
- Autômatos celulares – “Autômatos celulares são sistemas feitos de muitas unidades computacionais, cada uma seguindo um pequeno conjunto (normalmente, o mesmo conjunto) de regras simples.” (BODEN e EDMONDS, 2009, tradução nossa).
- L -systems – De acordo com (BODEN e EDMONDS, 2009), (FISCHER e HERR, 2001), (PRUSINKIEWICZ e LINDENMAYER, 1990) e (SHIFFMAN, 2012) L-systems é um algoritmo baseado na construção de gramáticas generativas, assim como as *shape grammars*. Ele foi proposto em 1968 por botânicos que desejavam estudar o desenvolvimento de plantas, seus componentes básicos são: o alfabeto, axioma e as regras. A partir desses componentes é possível construir estruturas de ramificação automática.
- Algoritmos evolucionários – Conforme explicado em (BODEN e EDMONDS, 2009) e (MACHADO e CARDOSO, 2000) um algoritmo evolucionário, aplicado a arte generativa, tem uma população inicial de trabalhos de arte a qual passara por sucessivas mutações. Um ser humano faz a avaliação estética das imagens e

funciona como a função de ajuste (“*fitness function*”) para determinar se ocorrerão novas iterações do algoritmo e quais serão as novas imagens de entrada.

- Shape grammars – Segundo (STINY, 1980) uma *shape grammar* possui 4 componentes: um conjunto de formas, um conjunto de símbolos, um conjunto de regras que mapeiam formas e símbolos, e uma forma inicial. Com estes dados cada algoritmo tem definida sua própria linguagem de formas.
- Modelagem swarm – Segundo (FISCHER e HERR, 2001) a modelagem *swarm* seria um exemplo de sistema baseado em comportamentos emergentes e auto-organização. Esta abordagem pode ser aplicada a artes robóticas (R-art), ou da maneira conforme introduzido no artigo de (JACOB e VON MAMMEN, 2007) no qual são definidas gramáticas *swarm* como uma generalização de L-systems para o espaço 3D.

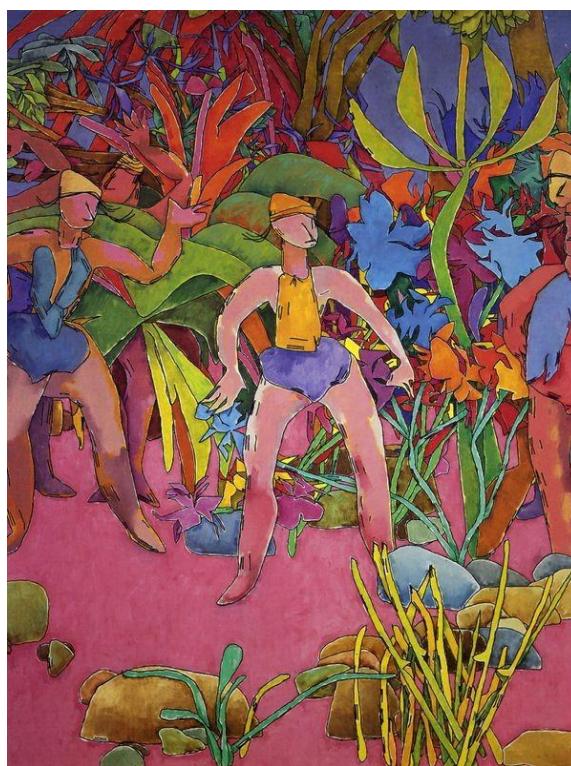
Tais técnicas se relacionam na medida que, algoritmos simples, conseguem gerar saídas diversas e inesperadas. Isto ocorre, pois todas elas se relacionam em algum grau com Teoria da Complexidade. A teoria da complexidade é um campo de estudo que engloba 4 subáreas: auto-organização (*self-organization*), sistemas não lineares, Teoria de Redes, e sistemas adaptativos. Que por sua vez englobam, respectivamente, os conceitos de: comportamentos emergentes, Teoria do Caos, Teoria dos Grafos e os conceitos de evolução e adaptação. Assim, a modelagem *swarm*, se relaciona a Teoria da Complexidade sobre a ótica da auto-organização, já que explora comportamentos emergentes entre algoritmos e máquinas. Dentro da Teoria do Caos tem-se o estudo de fractais, que por sua vez são estruturas matemáticas que medem a dimensão de irregularidade de um objeto ou superfície, que se relacionam com os algoritmos de L-systems e *shape grammars*, já que eles conseguem reproduzir esse tipo de estrutura. Já os algoritmos genéticos se relacionam com os sistemas adaptativos. E, por fim, os autômatos celulares apresentam característica de vários desses campos como: comportamentos emergentes e caóticos além da evolução.

**Imagen 1 – Infográfico Teoria da Complexidade**



Segundo (BODEN e EDMONDS, 2009) a arte generativa ou G-art e a arte generativa computacional CG-art se diferem sobre a seguinte perspectiva: a primeira pode utilizar de fatores físicos, psicológicos, biológicos, etc. para reduzir o controle do artista sobre a arte que ele produz, geralmente isto é um processo deliberado e que pode ou não envolver computadores, o que por sua vez o torna mais abrangente. Um exemplo de G-art que por sua vez não é CG- art por exemplo, seria um músico que ao compor define as notas da partitura por meio do lançamento de dados. A CG-art, por sua vez, implica, obrigatoriamente, o uso de computadores. Os autores discutem que este tipo de arte é intrigante por: “Em primeiro lugar a generalidade e o potencial de complexidade de programas de computador em termos do espaço de possibilidade dos trabalhos de CG-arte que é grande, na verdade infinito” (BODEN e EDMONDS, 2009, tradução nossa). Boden e Edmonds, também discutem acerca dos problemas que tal arte levanta sobre, por exemplo, a capacidade dos computadores de serem autônomos e criativos, além de aspectos autorais. Um exemplo de sistema (também estudado pelo grupo de criatividade computacional) que se encaixa na definição de CG-art segundo o artigo seria o AARON de Harold Cohen, que cria quadros de maneira autônoma.

**Imagen 2 – Obra de arte produzida pelo sistema AARON: “Meeting on gauguin's beach”**



Fonte: (COMPUTER HISTORY MUSEUM, 2021)

Algumas das técnicas definidas acima foram usadas para o desenvolvimento de design de joias. Em (KIELAROVA, PRADUJPHONGPHET, BOHEZ, 2013) a técnica de *shape grammars* é utilizada para gerar diferentes formatos de anel. Em linhas gerais, o artigo propõe uma gramática de formatos, baseado no modo como os designs exploram as formas em seu trabalho. Dado uma forma inicial, no caso a de um anel, são selecionadas as regras que serão aplicadas a forma base e que se encontram de acordo com a gramática para fazer alterações na geometria original do objeto. Aparentemente, os autores deram continuidade aos estudos de aplicação de *shape grammar* para a automatização dos designs de joias, pois em (KIELAROVA, 2019) e (KIELAROVA, PRADUJPHONGPHET, BOHEZ, 2015) tal técnica é mencionada sendo usada em conjunto com algoritmos evolucionários. A ideia em (KIELAROVA, 2019) é que as *shape grammars* sejam o gerador de formas e estilo das joias, enquanto os algoritmos genéticos são um mecanismo de otimização de múltiplos objetivos (*Multi-objective optimization*), que por sua vez envolve considerações estéticas (neste artigo os seres humanos funcionam como a *fitness function*) e parâmetros que moldam a peça (para esta última otimização, são mencionadas técnicas como, por exemplo, otimização de Pareto).

Ainda sobre (KIELAROVA, 2019), vale ressaltar que a autora permite a incorporação de pedras no design algo incomum nos artigos lidos.

Outro artigo que mistura as *shape grammar* com algoritmos evolucionários é (BERTACCHINI et al., 2021). Nele os objetivos são um pouco diferentes. Os autores tratam da indústria 4.0 e das mudanças que vem ocorrendo na forma que se produz e consome, e como que a integração de sistemas vem ganhando destaque neste contexto. Neste sentido os autores desenvolvem algoritmos generativos, mas como uma forma de mostrar as demandas e soluções para integração de sistemas de CAD com *softwares* de fatiamento para impressão 3D, por exemplo. O processo do trabalho consistiu em desenvolver uma *shape grammar*, no caso eles se inspiraram em fenômenos oscilatórios, e filtraram os resultados por meio de um algoritmo genético responsável por fazer a “*multi-objective optimization*” (processo análogo ao supracitado) e então desenvolveram um plug-in em C# para o *software* Rhinoceros, tendo em vista permitir uma melhor integração entre o processo de criação dos designs e os *softwares* de impressão 3D.

### **Imagen 3 – Anéis gerados por shape grammars**



Fonte: (KIELAROVA, PRADUJPHONGPHET, BOHEZ, 2013)

Já em (SANSRI e KIELAROVA, 2018) o design da joia leva em consideração dois objetivos: a aplicação da proporção áurea para o desenvolvimento de formas, e o segundo de otimizar a quantidade de metal utilizado. Tendo esses objetivos em vista, os autores utilizam algoritmos genéticos e funções de otimização para criar as peças, que serão então avaliadas por uma pessoa que definirá se uma nova iteração do algoritmo deverá ocorrer ou se algum dos designs propostos será desenvolvido. Os algoritmos evolucionários também são usados por (WANNARUMON, BOHEZ, ANNANON, 2008). Neste artigo,

os autores utilizam sistemas de funções iterativas (do inglês IFS – *Iterated Function System*) codificadas como genótipo de seu algoritmo genético, que então será mapeada para o seu respectivo fenótipo de fractal. O trabalho apresenta uma abordagem que ele chama de “*Two-step fitness function*”, na qual o fenótipo é avaliado por duas *fitness functions* distintas, sendo uma relacionada a morfologia (*Morphological Fitness Function*) do fractal e outra a estética (*Aesthetics Fitness Function*). A primeira função se vale de medidas de, por exemplo, simetria e complexidade enquanto a segunda foca na conectividade e em quão compacta são as formas da arte. Tal abordagem é interessante na medida que automatiza o processo de avaliação das peças além de ser um dos poucos em que pessoas não são apresentados como a função de ajuste, ainda que o usuário tenha a possibilidade de escolher os designs que serão usados na próxima seleção.

Por fim, artigos como (BERNDT et al., 2012) e (FATMA et al., 2021) não formalizam o problema em termos de algoritmos, por exemplo, as *shape grammars* ou os algoritmos genéticos como os demais. O primeiro parametriza a joias em termos de 4 variáveis, e a partir dela promove a variação estética de seus *outputs*. Já o segundo apresenta criações paramétricas baseadas em funções matemáticas, que foram desenvolvidas dentro do plug-in Grasshopper do Rhinoceros, mas não demonstra o potencial de variação estética em cima de um algoritmo específico.

Assim é possível notar como a arte generativa computacional (CG-art) relaciona-se com o design de joias, pois a arte generativa permite que um computador com pouca ou nenhuma interferência humana crie imagens esteticamente interessantes e o mesmo pode ser feito com o design de joias já que ele também é um tipo de arte. Ou seja, assim como a arte generativa permite criar artistas autônomos ela permite que designs de peças também sejam gerados autonomamente. O que por sua vez traz resultados inovadores e como citado em (BODEN e EDMONDS, 2009) nem os próprios criadores seriam capazes de antever o resultado final de seus trabalhos.

Sobre o aspecto da avaliação, notou-se que poucos trabalhos avaliavam seus resultados. Dentre os que tratam a maioria avalia sobre a perspectiva da qualidade estética do produto, e colocam no usuário de seus sistemas a responsabilidade por determinar os melhores designs produzidos. A ideia por traz desse paradigma é que as máquinas são boas para gerar possibilidades de design, e o humano é bom em perceber e classificar as coisas como bonitas ou feias, úteis ou inúteis. E o sistema tira proveito dessas características ao mesmo tempo que permite uma “co-criação” entre o designer humano e o *software* generativo. Em apenas dois dos artigos a saber: (KIELAROVA,

PRADUJPHONGPHET, BOHEZ, 2015) e (WANNARUMON, BOHEZ, ANNANON, 2008) foram feitas entrevistas e validações com pessoas. No primeiro o foco da entrevista é a avaliação do sistema e contou apenas com 5 pessoas. Já o segundo, o faz buscando aprimorar funções de análise estética.

Quando se trata de avaliação estética dos trabalhos é comum usar os usuários como a forma de avaliar o valor estético do trabalho. Ela é usada principalmente no contexto de algoritmos evolutivos e *shape grammars*. No primeiro o usuário é responsável por determinar as execuções do algoritmo, funcionando, assim como a *fitness function*, já no segundo o usuário pode escolher quais regras aplicar em que sequência e quando dar continuidade ao processo de modificações na forma em questão. Outras técnicas de avaliação incluem rastreamento do movimento ocular (*eye tracking*) ou funções que levam em consideração a forma do objeto e algumas métricas de interesse como organização, simetria e complexidade. O rastreamento ocular, apesar de ser recorrente nos resultados da pesquisa, não será utilizado neste trabalho, uma vez que requer equipamentos específicos, além de voluntários para efetuar o estudo, o que por sua vez aumenta demasiadamente a complexidade deste trabalho. Já a técnica apresentada no artigo de (KATO e MATSUMOTO, 2020) se mostrou bastante promissora. O artigo trata das tentativas feitas até então de criar uma função capaz de medir a beleza de um objeto através de análises morfológicas, baseada em curvas e formas planas. Uma das abordagens tratadas nele é a de Birkhoff que definiu uma função beleza em termos de ordem e complexidade. Kato e Matsumoto, a partir destes conceitos vão desenvolvendo seus cálculos buscando melhores noções sobre o que é ordem e como defini-la matematicamente, conduzindo estudos em paralelo com pessoas e com suas fórmulas e comparando-as. Como resultados, os pesquisadores conseguiram correlacionar o índice por eles proposto com uma medida sensorial de ordem coletada de entrevistados, mas o melhor desempenho ainda ficou abaixo de 80% de correlação. Apesar disso, o estudo mostra o potencial, pesquisa e avanços que tem sido feito no sentido de se calcular e consequentemente automatizar uma medida sobre a estética de um produto.

### **Soluções de mercado:**

Aplicações de arte generativa podem ser encontradas na arquitetura, pinturas e em design de produtos. Sendo este último o foco desse estudo. *Softwares* como o Autodesk Fusion 360 permitem a seus usuários finais criarem designs generativos que otimizam a topologia do produto desenvolvidos sem ser necessário conhecimentos de programação por parte de seus usuários. O presente estudo está mais interessado nos

algoritmos generativos sob a ótica de criar novas possibilidades de design, não sob a ótica topológica.

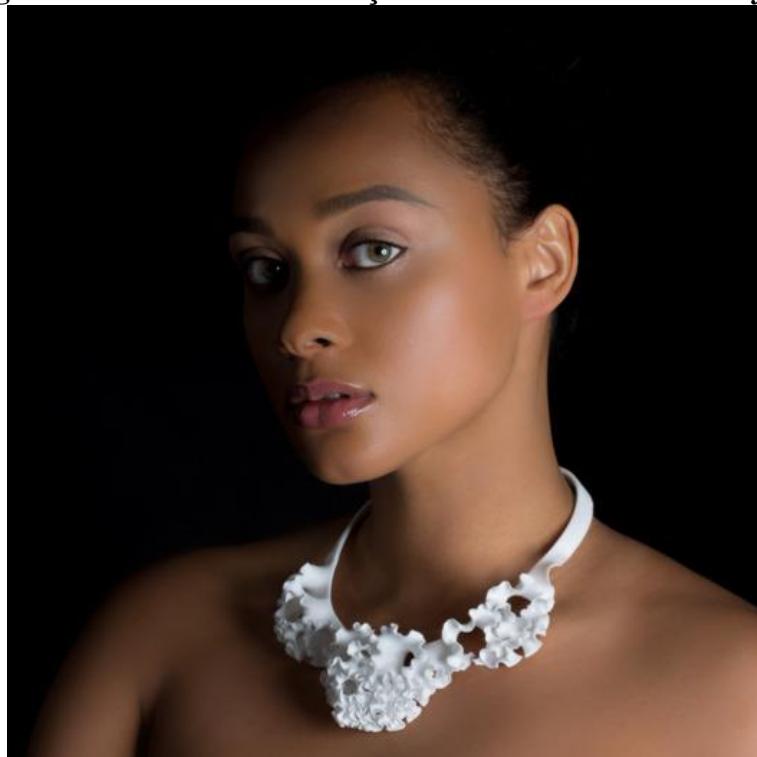
Já a Nervous System, é uma empresa criada por ex-alunos do MIT, que apresenta quebra-cabeças, roupas e joias generativas no seu portifólio de produtos, que podem ser adquiridos através do respectivo site. Além disso, a companhia tem um *software* através do qual seus clientes podem co-criar designs generativos e encomendar os produtos desenhados. O trabalho deles é uma das principais fontes de inspiração para esse projeto, já que apresentam resultados visualmente atrativos e se baseiam em artigos como (CRANE, WEISCHEDEL, WARDENZKY, 2013), (LIANG e MAHADEVAN, 2011) e (LIANG e MAHADEVAN, 2009).

**Imagen 4 – Colar da coleção Hyphae do Nervous System**



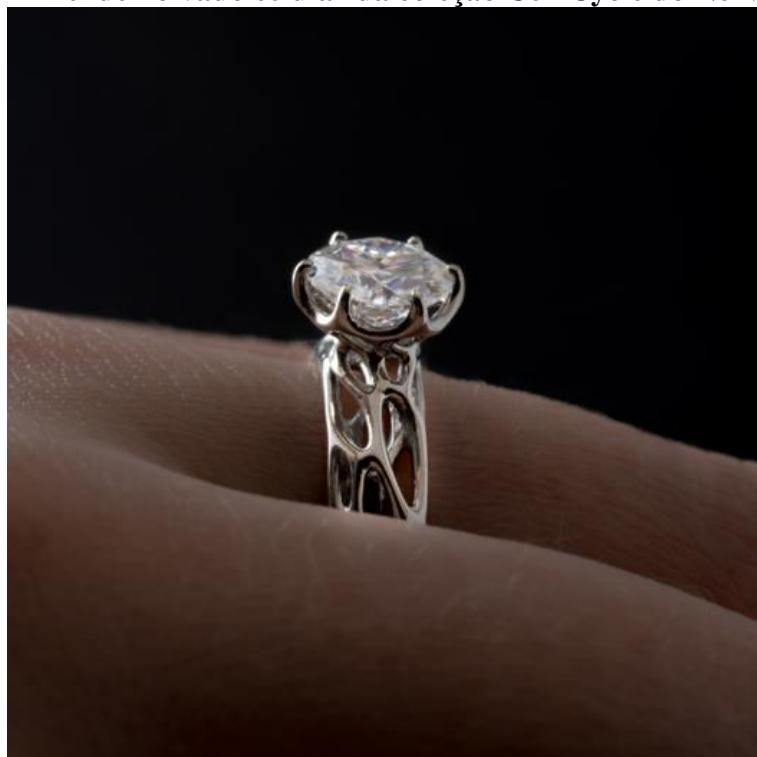
Fonte: (NERVOUS SYSTEM, 2021)

**Imagen 5 - Colar Flora da coleção Floraform do Nervous System**



Fonte: (NERVOUS SYSTEM, 2021)

**Imagen 6 – Anel de noivado celular da coleção Cell Cycle do Nervous System**



Fonte: (NERVOUS SYSTEM, 2021)

**Imagen 7 – Brincos Corolla da coleção Corollaria da Nervous System**

Fonte: (NERVOUS SYSTEM, 2021)

**Imagen 8 – Vestido Kinematics**

Fonte: (ROSENKRANTZ, 2015)

Outro trabalho interessante é o de Alan Stafford e Henry Hu, que usam dados de testes de personalidades para desenvolver peças de joias. A ideia desse trabalho é análoga a de Refik Anadol, que em 2018 criou uma série de projeções denominada “*Dream*” para o Walt Disney Concert Hall. Anadol descreve “*data as a pigment*” ou seja dados como uma forma de pigmentar e desenvolver suas obras generativas, só que no caso de Stafford e Hu os dados estariam sendo usados como uma nova forma de esculpir e parametrizar

materiais. Isso se relaciona com o trabalho proposto na medida que mostra o potencial de uso de bases de dados para o desenvolvimento de artes algorítmicas. Tal técnica poderá ser utilizada juntamente com o algoritmo gerativo para a criação das peças deste projeto. Além disso o trabalho de Stafford e Hu foi desenvolvido no Blender, um dos *softwares* que poderá ser usado como ferramenta para o desenvolvimento deste projeto.

**Imagen 9 – Instalação do Refik Anadol: “Melting memories”**



Fonte: (WIRED, 2021)

**Imagen 10 - Instalação do Refik Anadol: “Dreams” no Walt Disney Concert Hall**



Fonte: (WORLD ARCHITECTURE COMMUNITY, 2018)

**Imagen 11 - Alan Stafford e Henry Hu protótipos gerados no Blender**



Fonte: (STAFFORD, 2018)

**Imagen 12 - Alan Stafford e Henry Hu joia e cartão de apresentação**



Fonte: (STAFFORD, 2018)

Após a revisão da literatura, sentiu-se a necessidade de definir alguns parâmetros do projeto que ainda se encontravam em aberto, como: Qual família de algoritmos seriam utilizados? (Ex.: *shape grammars*, autômatos celulares, entre outros). Se dados seriam

usados como uma forma de parametrizar o design, entre outras questões. Abaixo, estão discorridas as decisões de projeto adotadas.

- Qual família de algoritmos seriam utilizados?
  - Autômatos celulares
- Usar dados como *input*?
  - Sim
- Inspirações:
  - Formas matemáticas
  - Cogumelos (L-systems)
  - Turbulência / Fractais/ Teoria do Caos e Teoria da Complexidade
- Forma de codificar:
  - Por meio de *scripts*, ou seja, textual
- Forma de avaliação:
  - Funções e questionários
- Tipo de aplicação?
  - *Script*

Decidiu-se utilizar os autômatos celulares como algoritmo de design, pois apesar de ser mencionado o seu potencial no design generativo ele ainda não foi muito explorado na literatura no contexto de design de produtos. Já a decisão sobre usar dados como entrada para o algoritmo foi colocada na medida que eles podem ser tratados e manipulados para dar a visão do artista sobre o código que está sendo gerado, no sentido que, a forma como os dados são tratados e quais características dos designs estarão associadas a eles depende da perspectiva da pessoa que cria e desenvolve o código. Além disso, são uma forma de aleatóriegar as saídas sem fazer uso de funções pseudoaleatórias. Sobre as inspirações, elas vieram dos artigos, imagens e materiais lidos pra a construção do trabalho e são um guia sobre como conduzir o código e seus resultados visuais.

A avaliação, a princípio, leva em consideração tanto funções matemáticas quanto questionários. Isto foi colocado desta forma, pois existem conforme mostrado na revisão da literatura estudos que vem desenvolvendo técnicas para fazer os cálculos estéticos sem depender de um ser humano, o que por sua vez corrobora para a autonomia do sistema proposto no presente trabalho. Entretanto, como tais fórmulas ainda não apresentam resultados expressivos e a estética de uma joia é fundamental para o sucesso do produto acredita-se que os questionários sejam uma forma mais precisa de avaliar a estética e o

interesse nas peças desenvolvidas. Assim, as métricas e os questionários são propostos como ferramenta de avaliação uma vez que as abordagens são complementares.

Por fim, espera-se que o *software* desenvolvido seja um *script*, não se tratando, portanto, de um aplicativo ou site, pois o programa a princípio seria completamente autônomo, ou seja, uma pessoa, que não o programador, não teria controle sobre o design gerado.

## 6. Estudo de ferramentas 3D

À medida que a revisão da literatura foi executada, foram anotados quais *softwares* e ferramentas eram utilizados pelos autores. Com tais dados, foram feitas algumas pesquisas sobre eles, tendo em vista seus principais recursos, vantagens e desvantagens e como isso se adequava a maneira como se pretendia desenvolver o trabalho. Os resultados desta etapa estão sumarizados na tabela que se segue:

**Tabela 1 – Análise das ferramentas**

Ferramenta	Vantagens	Desvantagens	Observações
1) Rhinoceros 3D	<p>Principal <i>software</i> utilizado na indústria de joias e também o mais mencionado nos artigos lidos.</p> <p>O Rhinoceros tem uma parte para o desenvolvimento de <i>scripts</i> dentro dele, nas linguagens Visual Basic e Python.</p>	<p>Pago; UFMG não tem licença</p>	<p>Baseado na tecnologia NURBS. Ele funciona a base de <i>plugins</i>, ou seja, pode-se programar um <i>plug-in</i> ou adicionar uma funcionalidade com a instalação de um <i>plug-in</i> de terceiros. Dentre os principais <i>plugins</i> mencionados temos o Grasshopper que permite a programação visual no Rhinoceros e o Octopus que permite a exploração de diferentes</p>

Ferramenta	Vantagens	Desvantagens	Observações
			formas dentro de um projeto (Multi-Objective Evolutionary Optimization).
2) Blender	Grátis; <i>Open Source</i> ; Scripting em python; Foco em objetos 3D; Tem suporte para programação visual; Baixa curva de aprendizado; Interagir com o design ao longo do processo.		
3) Autodesk Fusion 360	Integra recursos de design e engenharia; Roda simulações (Mas isso não faz diferença para o trabalho em questão)	Pago; Otimização topológica -> Pouca influência no processo generativo de design	Sistema roda na Nuvem.
4) Generative Components (Bentley Systems)	Permite explorar alternativas de design;	Pago; Pouco documentado; Programação visual ou por <i>transaction script</i>	
5) Dynamo (Autodesk)	Grátis; <i>Open Source</i>	Programação visual	Extensão do Autodesk Revit, que por sua vez é pago e é um <i>software</i> voltado para arquitetura
6) Generative Modeling Language	Parece ser simples e versátil.	Aparentemente o site foi atualizado pela última vez em 2018.	O GML é uma linguagem que descreve objetos 3D e operações sobre eles.

Ferramenta	Vantagens	Desvantagens	Observações
			Ela utiliza de um paradigma chamado “ <i>Generative Modelling</i> ”.  Linguagem interpretada.  Criada por Sven Havemann em 2005. A linguagem tem relação com o instituto de computação gráfica e visualização de conhecimento da Universidade Tecnológica de Graz, na Áustria.
7) JewelCAD		O site não abriu no navegador; Pouca documentação.	
8) iRing3D		Exclusivo para iPad	Software para iPad da ShapeWays <sup>3</sup>
9) Processing	Grátis; <i>Open Source</i> ; Linguagem Java ( <i>default</i> ) mas pode ser usado com outras linguagens como por exemplo Python; Bem documentado; Indicado para artistas; Baixa curva de aprendizado;	Tem a versão para criação de imagens em 3D, mas o foco da plataforma é a criação de imagens bidimensionais; O movimento do objeto 3D é parte do código.	

<sup>3</sup> A Shapeways é uma empresa que realiza impressões 3D em diversos tipos de materiais distintos sob encomenda. Ela foi criada em 2007 dentro da Philips e posteriormente se tornou uma empresa independente, portanto sua origem é holandesa.

Ferramenta	Vantagens	Desvantagens	Observações
10) Matrix Gold 3D	Um dos principais softwares usados na indústria de joias	Pago; Dentre os requisitos que o software pede de hardware para o correto funcionamento do mesmo, o computador utilizado para a execução do trabalho não tem placa de vídeo NVIDIA.  Não suporta qualquer interface de programação, ao contrário do Rhinoceros 3D.	
11) Art CAM Jewel Smith / Delcam Designer		Descontinuado em 2018	Era da Autodesk
12) openFrameWorks	Linguagem C/C++	Tem a versão para criação de imagens em 3D, mas o foco da plataforma é a criação de imagens bidimensionais; O movimento do objeto 3D é parte do código.	
13) Cinder	Linguagem C/C++	Tem a versão para criação de imagens em 3D, mas o foco da plataforma é a criação de imagens bidimensionais; O movimento do objeto 3D é parte do código.	
14) Unity		Voltada para jogos	
15) Allegro	Linguagem C/C++	Voltada para jogos	
16) Mb3d ou Mandelbulb 3D		Limitado	Sua principal funcionalidade é permitir a criação de fractais, como o fractal de

Ferramenta	Vantagens	Desvantagens	Observações
			Mandelbrot, em 3 dimensões.
17) Houdini	Procedural; Tem uma versão gratuita e uma paga;	Programação visual ou “ <i>Node-based workflow</i> ”	

Uma vez feito a pesquisa foram descartados *softwares* pagos, a partir disso o Blender, o GML (*Generative Modelling Language*), o Processing e o Allegro foram testados na prática. O GML não foi possível de ser instalado pois ao tentar fazê-lo o Windows abriu um *pop-up* dizendo que o software não era seguro para ser instalado. Ao longo dos testes com as plataformas foram feitos pequenos códigos, para verificar quanto fácil era programar nelas, fazer pesquisas em suas documentações entre outros detalhes. Por fim, optou-se pelo uso do Blender como IDE de desenvolvimento do trabalho.

## 7. Código

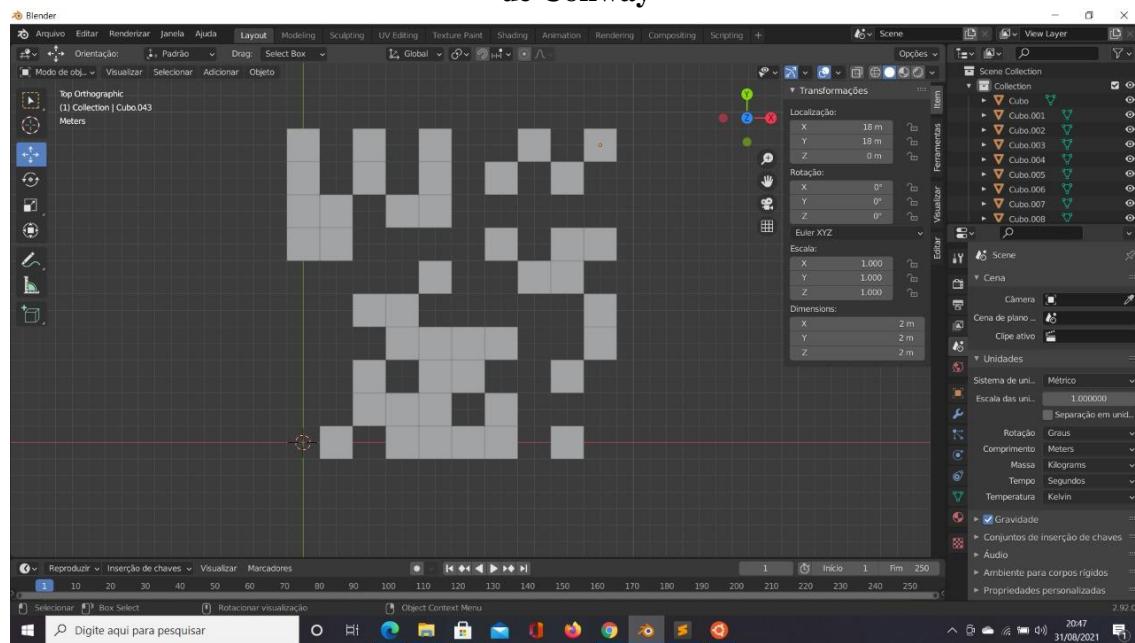
A lógica de programação no Blender tem suas peculiaridades. Conforme supracitado o Blender permite o desenvolvimento de scripts Python dentro de seu sistema, sendo necessário executar o comando *import bpy* no início de cada *script* para serem carregadas as formas, materiais e outras operações em três dimensões. A respeito dessa API (*Application Programming Interface* ou em português Interface para Programação de Aplicativos) vale ressaltar alguns detalhes. Em primeiro lugar, é importante compreender a estrutura dos objetos 3D. Todos os objetos declarados são compostos por vértices, arestas e faces. Várias faces conectadas por meio de arestas compõem o que é chamado de “*Mesh*” ou “*Polygon*” (na documentação do Blender eles tratam por *mesh*, mas outros softwares usam o termo *polygon*), que corresponde a um objeto tridimensional. Além disso, o Blender não cria variáveis para os objetos, por exemplo: deseja-se declarar um cubo que está associado a uma variável C, e todas as operações que se desejar fazer com este cubo é necessário fazê-lo através de C. Ele infere isso pelo que ele chama de contexto, ou seja, o *software* sabe que estamos operando com um objeto em detrimento de outro, pois ele se encontra selecionado. Isto por sua vez permite que por exemplo um objeto seja criado de forma procedural, mas detalhes como sombreamento e material sejam implementados na mão.

Para executar a implementação do trabalho, alguns códigos foram usados como referência: (OSLO, 2019) e seu respectivo código disponível no GitHub e (BENEHANS, 2020) que implementam o jogo da vida de Conway – um tipo de autômato celular – no

Blender. O primeiro trabalho, o faz como uma forma de criar cenários ou labirintos para jogos, já o segundo simplesmente usa o algoritmo para fazer uma animação. Decidiu-se utilizar o jogo da vida de Conway uma vez que apresentava vídeos e códigos de exemplo, além de ser um autômato celular simples e com poucas regras.

O código é estruturado da seguinte forma: uma tabela inicializada com valores aleatórios é criada representando o tabuleiro no qual se desenvolverá o jogo da vida. Dentro dela são aplicadas as regras do jogo e só depois de 10 operações, no caso, o algoritmo para de aplicar as regras e então o resultado é printado na tela. Ou seja, da forma como se encontra programado as iterações intermediárias não são desenhadas no Blender. Assim, o código ao ser rodado, gera uma configuração do jogo da vida de Conway, como a mostrada na figura abaixo após as 10 iterações:

**Imagen 13 – Resultado execução do algoritmo produzido baseado no jogo da vida de Conway**



Toda vez que se executa o *script* uma nova configuração é gerada. Apesar de serem diferentes elas mantêm uma identidade visual entre elas, já que todas são compostas por vários cubinhos plotados dentro de uma matriz.

Além disso, foi implementada, também, uma função que salva as configurações iniciais do tabuleiro, para o caso de alguma configuração interessante surgir, ser capaz de reproduzi-la. No entanto ela não está sendo utilizada na atual versão do código disponível em:<https://github.com/LarissaDG/Monografia/commit/b88da144e4d3327ae19d76024de84c3ea12122f7>. Ademais, alguns outros detalhes não foram completamente

automatizados, como o aro do anel, e a definição do material do objeto. E não foi testado, ainda, o uso de dados externos como uma forma de parametrização do design. Apesar disso, da forma como o código se encontra é possível ilustrar o potencial do uso de código para a criação de designs com estéticas diferentes e exclusivas.

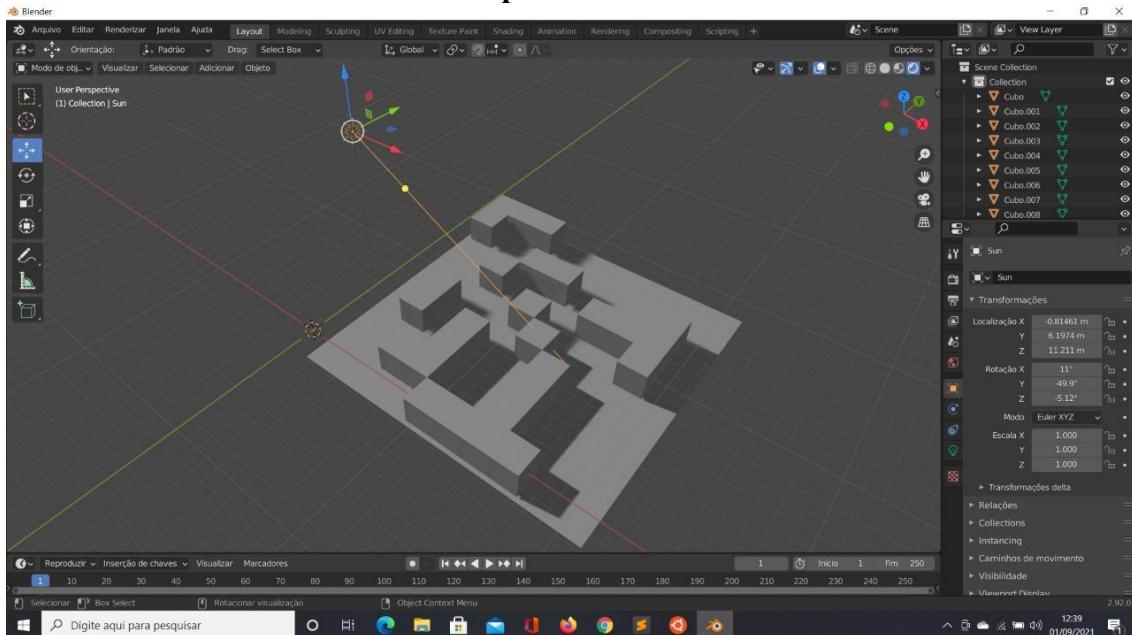
Sobre as inspirações, dos designs e desenvolvimento do código é possível perceber que nem todas elas são apresentadas explicitamente no design ou no código que a gerou. No entanto conforme discutido na revisão da literatura, autômatos celulares e as demais famílias de código apresentam traços que as conectam com teoria da complexidade/caos e por sua vez são subentendidos na produção das peças. Sobre os cogumelos, inicialmente, tinham-se a ideia de criar uma estrutura, por meio de retângulos/paralelepípedos que crescessem e lembressem as lamelas de um cogumelo, mas não foi implementado. Logo, dentro das inspirações: formas matemáticas, cogumelos e teoria do caos/complexidade, a primeira e a última correlacionam-se com o design e códigos gerados, sendo a primeira notada pela superfície gerada com os cubos, e a última no fato do algoritmo de autômatos celulares apresentarem um comportamento caótico.

Ao longo do processo de implementação, alguns problemas surgiram. O primeiro foi como efetuar a codificação que modificasse a superfície de um objeto. Aparentemente existem formas de operar com vetores normais que são posicionados perpendicularmente as faces dos objetos, no entanto, como os autômatos celulares foram escolhidos como algoritmo de design, notou-se que não havia necessidade de executar tais operações, e que poder-se-ia criar vários objetos e tratá-los como uma única superfície. Em seguida houve um problema sobre como criar esses objetos sem ser necessário saber qual objeto se encontrava selecionado, ou seja, como executar o jogo da vida sem depender das variáveis de contexto do Blender. Tal problema foi superado utilizando-se de matrizes e imprimindo apenas as configurações inicial/final. Outro problema que se notou com a execução do código e os primeiros resultados foi que alguns designs geravam “ilhas” de cubinhos, ou seja, cubinhos que não se encontravam conectados e, portanto, não poderiam fazer parte do design final ou o design deveria ser modificado. Associado a isso também há cubinhos que só se encontram conectados por uma aresta, o que também é um ponto que poderia causar problemas no processo de fabricação das peças.

Sobre como resolver os problemas estruturais dos designs algumas soluções foram pensadas. A primeira, consiste em, na configuração final, ao invés de se imprimir as células que se encontravam vivas (ou seja, valor igual a 1 na matriz) decidiu-se imprimir as células que estavam mortas. A lógica por trás disso é que, à medida que as iterações

vão ocorrendo menos células vão sobrevivendo o que por sua vez as tornam esparsas e propensas a formarem ilhas. No entanto, fazer tal alteração não melhorou os resultados de forma expressiva. Outras alternativas foram colocar um plano abaixo dos cubinhos, como uma superfície de apoio ou base, rodar o algoritmo duas vezes sobrepondo suas saídas, testar outros autômatos celulares, excluir ilhas, conectar ilhas ou invalidar designs com essa característica. Destas foram testadas as duas primeiras, a do plano e a de sobre escrever as saídas, a primeira não produziu resultados estéticos interessantes e a segunda quase completa o quadrado da matriz por inteiro. Sobre excluir ou conectar ilhas, foi pensado em usar uma árvore geradora mínima ou outro algoritmo de grafos para fazer tais tratamentos, mas não foram feitas revisões ou estudos a este respeito. Por fim a ideia de invalidar os designs com falhas estruturais, não se mostrou interessante, na media que se perde a principal vantagem do trabalho: criar designs de maneira automática e com estéticas diversas, gerando várias possibilidades de desenhos em menos tempo.

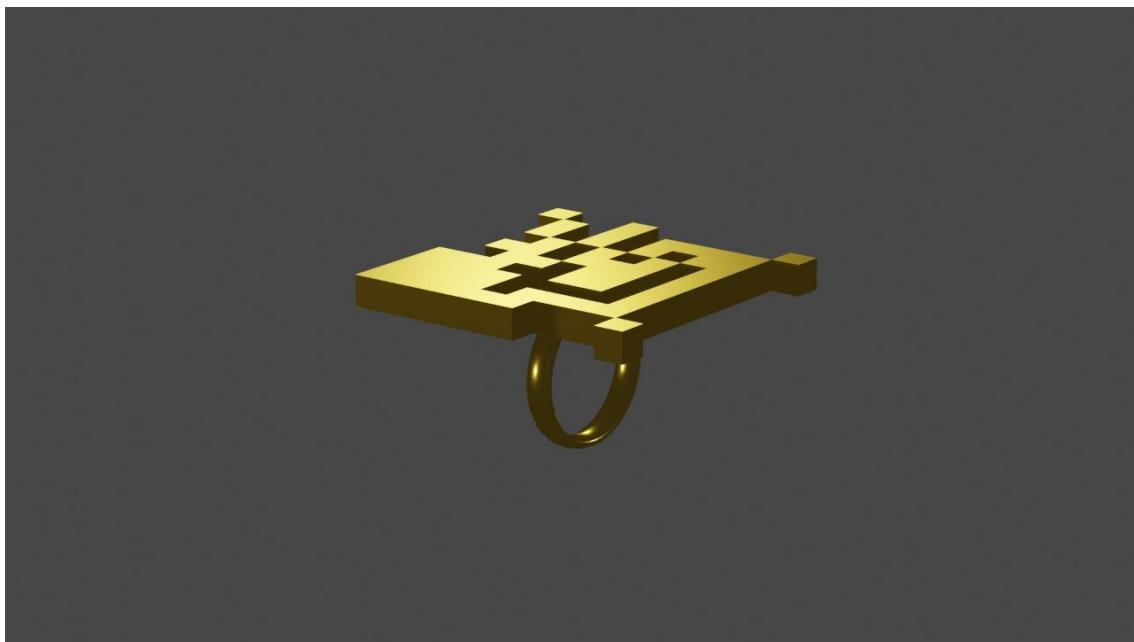
#### **Imagen 14– Uma solução para o problema das “ilhas” de cubinhos seria colocar um plano sob eles.**



#### **8. Peças**

As peças geradas nesta parte foram feitas da seguinte forma: primeiro, o código foi executado e então gerada a parte principal do design, como a superfície do brinco ou anel. Essas superfícies ganharam os acabamentos como o aro do anel e os respectivos materiais na mão, e então foram renderizadas. Alguns dos resultados obtidos podem ser observados nas imagens que se seguem:

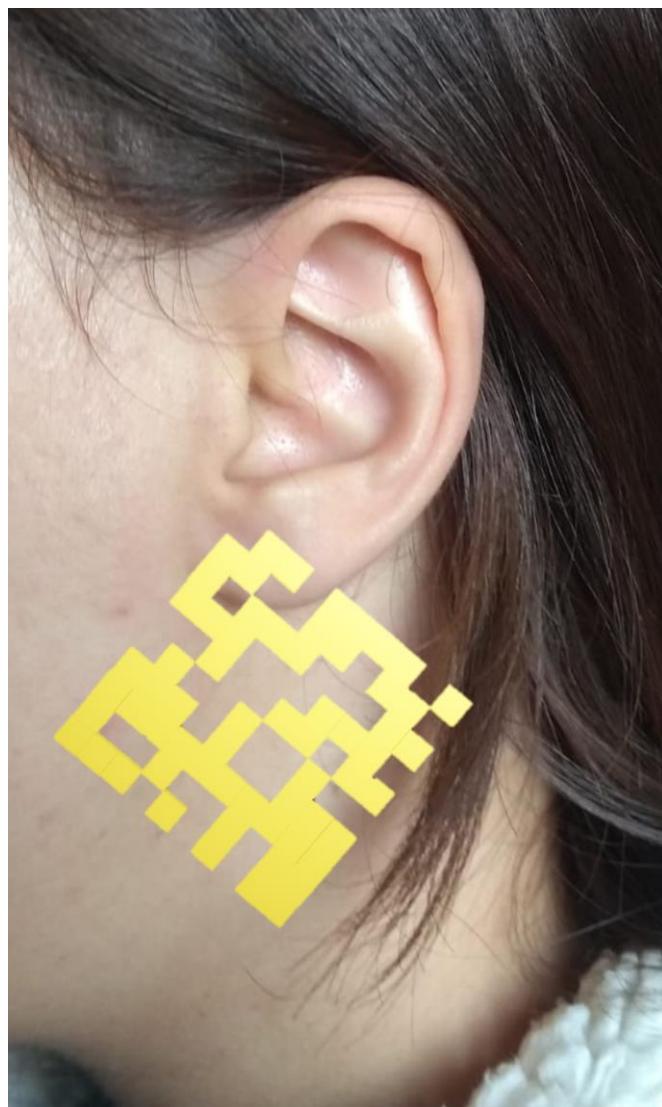
**Imagen 15 – Render finalizado de um dos designs gerados pelo algoritmo como o topo de um anel**



**Imagen 16 – Render finalizado com aleatoriedade nas alturas dos cubinhos**



**Imagen 17 – Montagem sugerindo um dos designs gerados pelo algoritmo como um brinco.**



## **9. Conclusão – Parte 1**

Ao longo do texto contextualizou-se o trabalho apresentando o que é arte generativa e como ela se relaciona com design de joias. Conclui-se que o trabalho feito então ilustra o potencial de uso de código para a automatização do processo de design de joias. E como próximos passos espera-se aprimorar o algoritmo e desenvolver a avaliação do trabalho e dos resultados alcançados.

## MONOGRAFIA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO – PARTE 2

### 10. Introdução

Dando continuidade aos trabalhos desenvolvidos no primeiro semestre de 2021, aprimorou-se a implementação e desenvolveu-se a avaliação do trabalho. Sobre a implementação dos algoritmos generativos, optou-se por testar outros algoritmos que poderiam apresentar resultados interessantes. Já em termos da avaliação do trabalho estabeleceu-se que seriam realizadas avaliações em termos do código produzido e dos artefatos gerados. A seguir detalha-se os tópicos mencionados.

### 11. Código

No semestre anterior, estabeleceu-se alguns paradigmas para o desenvolvimento do software generativo. Por exemplo, estipulou-se que a família de algoritmos que seria explorada usaria os princípios de autômatos celulares, que dados seriam usados como entrada, além da linguagem de programação utilizada: o Python e o ambiente de desenvolvimento: Blender. Já no presente semestre, optou-se por testar um algoritmo generativo que apresentasse uma construção do design distinto do jogo da vida de Conway, já que este estava gerando designs com diversos problemas estruturais a saber: geração de “ilhas” e cubinhos apenas conectados por uma aresta. A intenção ao implementar outro algoritmo seria, portanto, evitar tais falhas estruturais que poderiam inviabilizar a utilização dos desenhos como partes de joias.

Tendo isso em vista, buscou-se algoritmos que já criassem padrões que as partes fossem conectadasumas às outras por construção. Em primeiro lugar, pesquisou-se mais afundo quais os algoritmos eram usados pela Nervous Systems em seus produtos. Neste sentido dois se mostraram promissores: o *reaction-diffusion* e o *diffusion limited aggregation* (DLA).

O *reaction-diffusion* é usado pela Nervous Systems para a estilização de superfícies de copos ou vasos conforme mostrados na figura abaixo:

**Imagen 18 – Reaction – diffusion cup**

Fonte: (NERVOUS SYSTEM, 2021)

A ideia do algoritmo é: dentro de cada célula ou pixel da nossa imagem ou grid temos uma quantidade X do elemento químico B, e em cada uma dessas células vamos acrescentar uma quantidade Y do elemento químico A. Sabendo que A reage com B, ao colocar esses elementos juntos haverá a reação e o resultado dessa reação, se há mais quantidade do elemento A ou B determinará a propriedade da célula em questão. E um mecanismo de remoção do elemento base, no caso o elemento B, evita que a tela fique completamente preenchida com apenas uma das propriedades. O algoritmo de *reaction-diffusion* é um tipo de autômato celular. No entanto, assim como o jogo da vida de Conway, tal algoritmo pode gerar partes desconexas o que não é interessante para o presente trabalho, e, portanto, não chegou a ser implementado.

Outro algoritmo utilizado pelo Nervous Systems é o *diffusion limited aggregation* (DLA). Através dele o grupo desenvolveu uma coleção de joias denominada: Dendrite. O funcionamento deste algoritmo, sua implementação e resultados obtidos serão detalhados na parte em que se segue.

**Imagen 18 – DLA Full Moon Series**



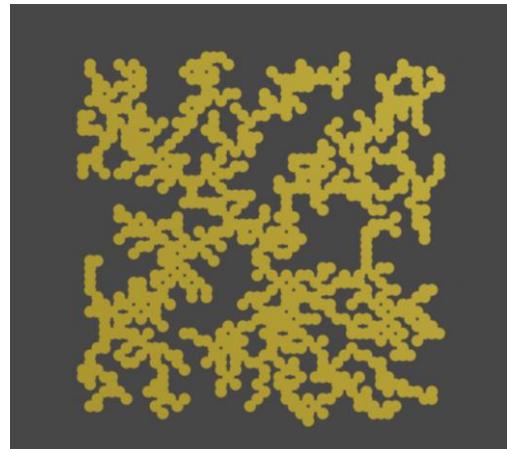
Fonte: (NERVOUS SYSTEM, 2021)

a. **DLA – Difusion Limited Aggregation**

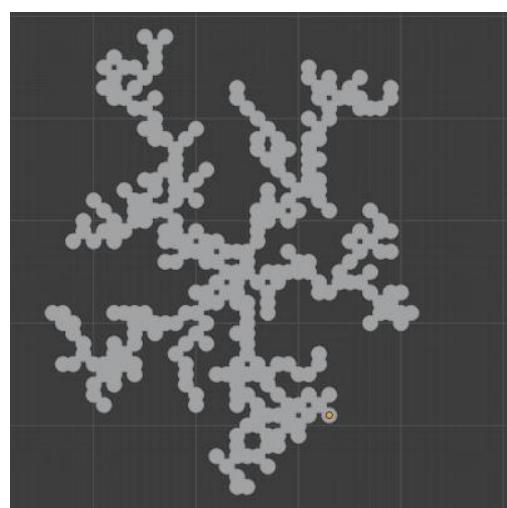
Para a implementação desse algoritmo tomou-se como base o tutorial de (THE CODING TRAIN, 2016). Nele é explicado o funcionamento do *diffusion limited aggregation* (DLA) que é descrito a seguir: primeiro escolhe-se um ou mais pontos como fixos. Então gera-se vários outros pontos que irão percorrer a tela executando um caminho aleatório. Caso um dos pontos que se movimenta colidir com um dos pontos fixos, ele ficará grudado a ele. Assim, este algoritmo gera designs que são conectados por definição, e formam padrões de ramificações similares ao mostrado pelo colar a cima.

Nota-se com isso, que o DLA apresenta uma forma de construir o design distinta da utilizada pelo jogo da vida de Conway, que define células e as regras de interação entre elas. Ademais o algoritmo mantém características interessantes como a variabilidade estética, e identidade visual. O DLA, portanto, evidência a possibilidade de se gerar diferentes designs usando as mesmas regras básicas. Por exemplo, pode se limitar o crescimento das estruturas de ramificação por meio de um grid, que por sua vez permite gerar designs com uma forma mais quadrada, deixar o design sem limitação de crescimento, colocar múltiplos pontos formando um círculo como fixos, entre outros.

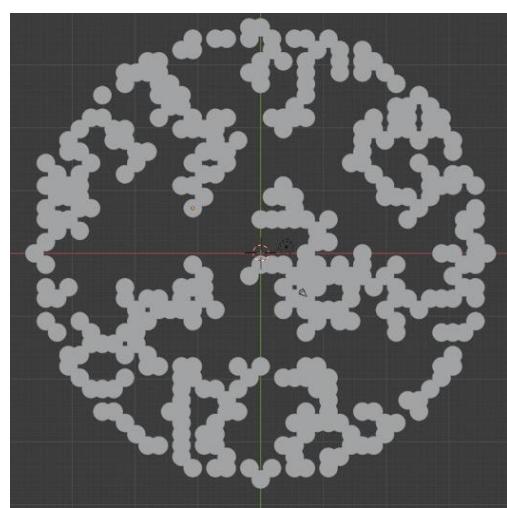
**Imagen 19 – DLA com grid, forma quadrangular**



**Imagen 20 – DLA simples**

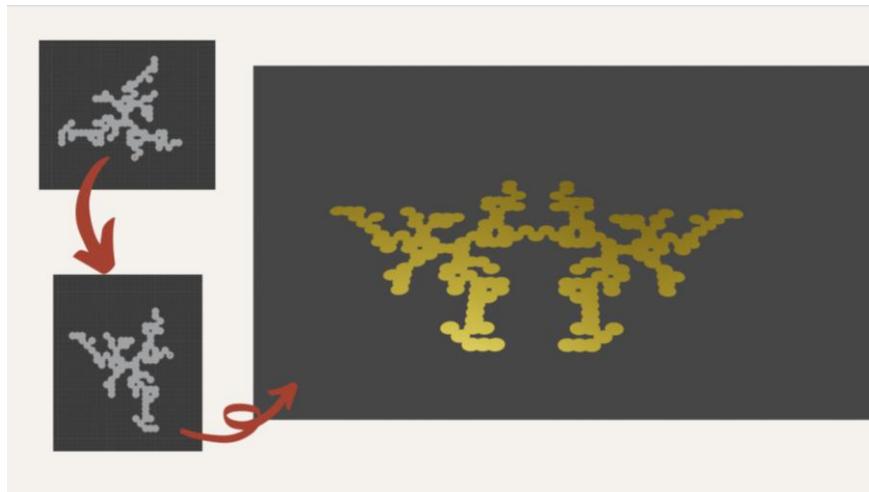


**Imagen 21 – DLA com múltiplos pontos fixos, circular**

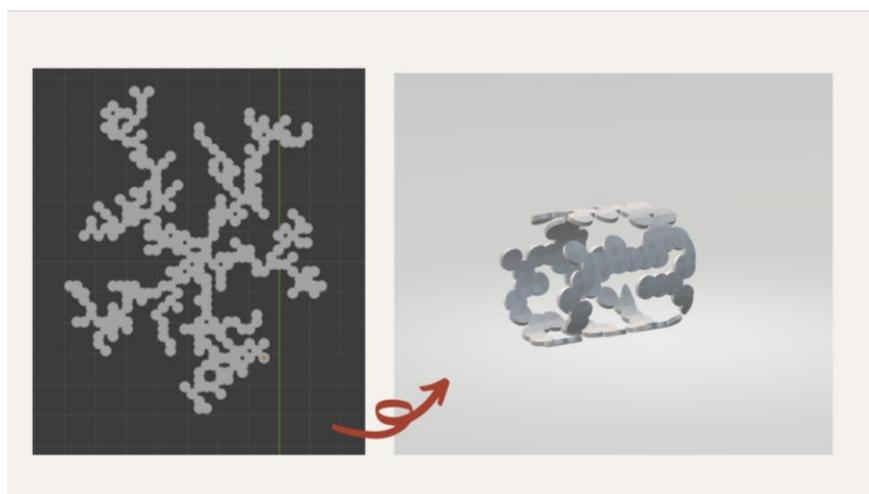


Além disso, o DLA evidencia a possibilidade de co-criação do sistema. No caso, o algoritmo gerativo desenvolve uma imagem base que pode então ser manipulada por um designer ou usuário para criar outros designs. Alguns exemplos são ilustrados nas figuras que se seguem:

**Imagen 22 – Processo de co-criação com o DLA**

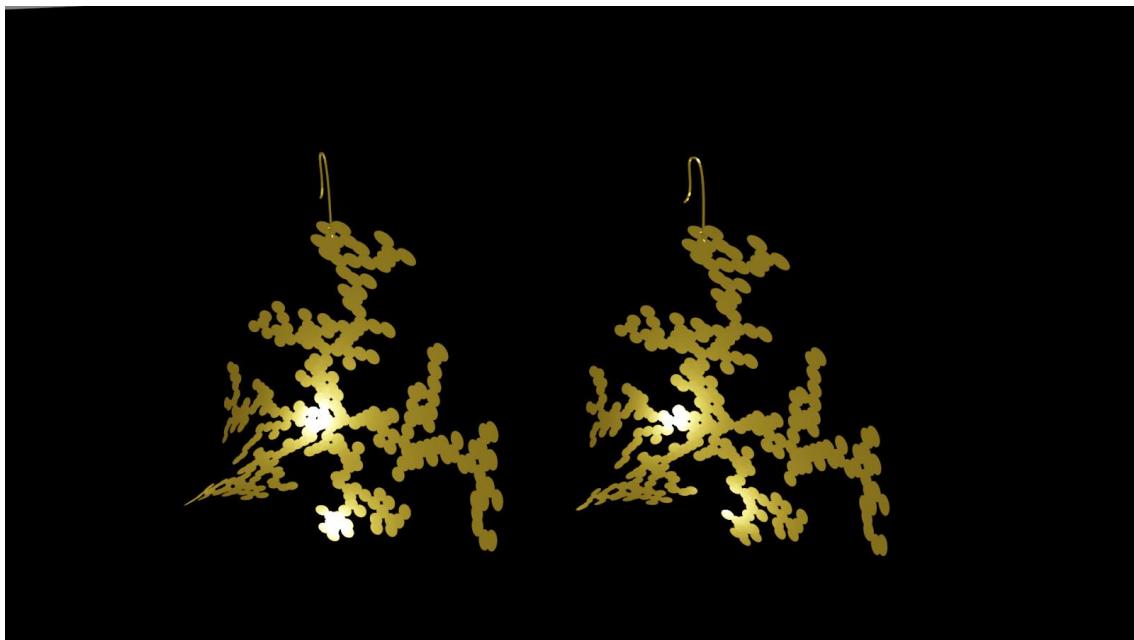


**Imagen 23 – Processo de co-criação com o DLA**

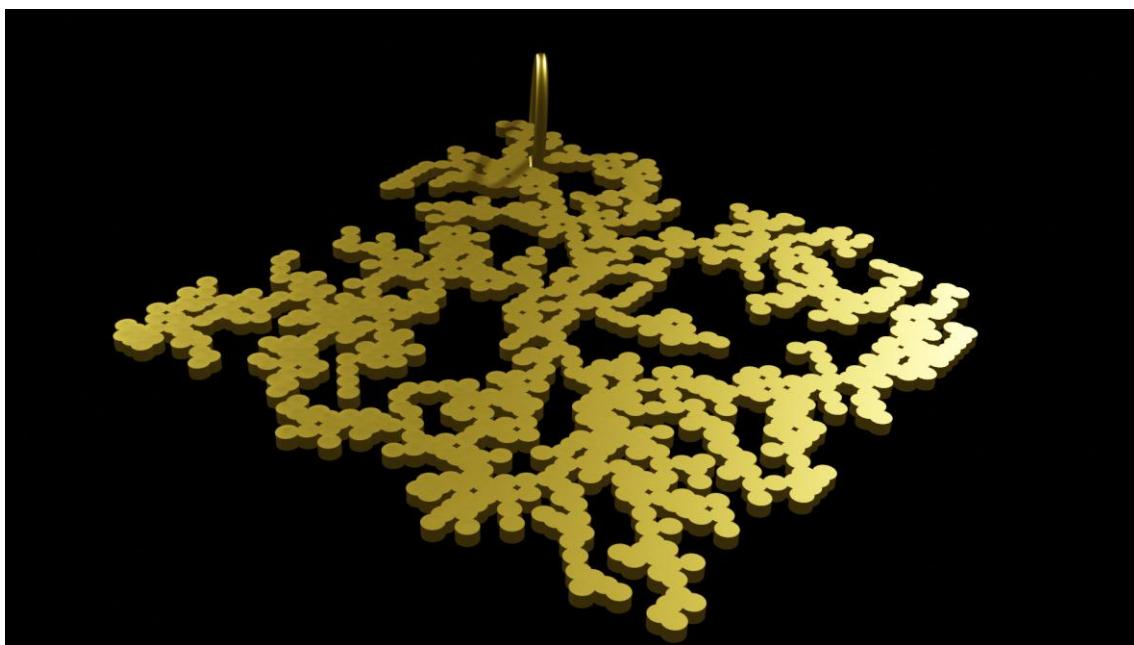


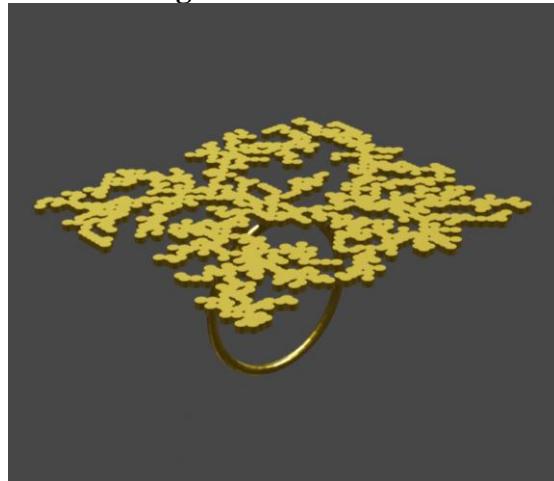
Ao longo do processo de desenvolvimento do *diffusion limited aggregation* notou-se que o Blender não aguentava o processamento das operações entre as bolinhas que compõe o algoritmo. Neste sentido, optou-se por fazer os processamentos em outro software, no caso através de um Jupyter Notebook, salvar os outputs em um arquivo e então utilizar o Blender apenas para imprimir e trabalhar as configurações finais dos algoritmos, como por exemplo, dar a elas o aspecto de ouro. Algumas das peças geradas por meio do DLA podem ser vistas nas imagens a seguir.

**Imagen 24 – Brincos DLA**



**Imagen 25 – Pingente DLA com elo móvel**



**Imagen 26 – Anel DLA**

**b. JVC – Jogo da Vida de Conway**

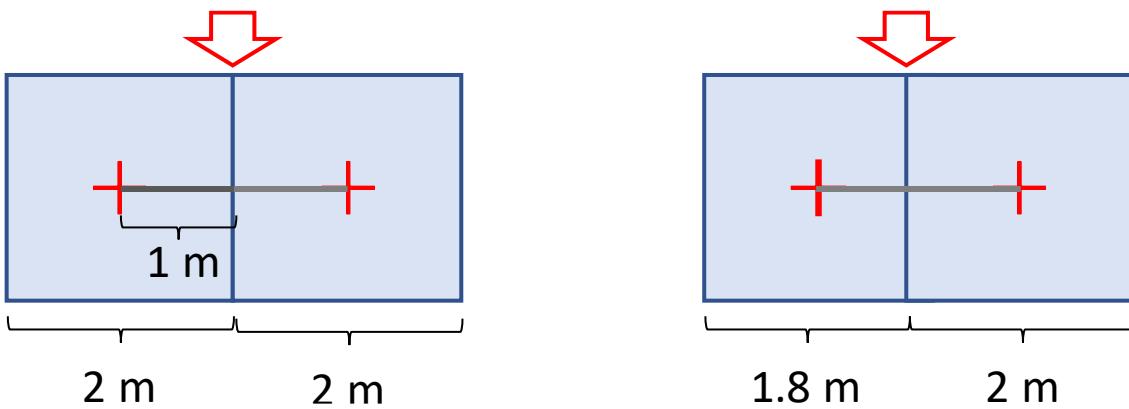
Ao longo do desenvolvimento do trabalho, e com os avanços conquistados com o uso do DLA, decidiu-se tentar aprimorar o algoritmo do jogo da vida de Conway e adicionar verificações topológicas caso necessário. Neste processo, notou-se que alguns dos problemas observados no trabalho do semestre anterior se deviam a problemas de parâmetros.

O jogo da vida de Conway funciona assim: existem células que compõe um grid que interagem entre si, essas interações, por sua vez, marcam uma geração. Se uma célula não possuí células vizinhas, ou apresenta apenas uma, a célula morre de solidão. Caso, tenha mais de três vizinhas a célula morre de superpopulação. Já se a célula possuí três vizinhas há o nascimento de uma nova célula. E esses nascimentos e mortes são instantâneos com as mudanças de gerações. Na implementação realizada, preenche-se o grid com uma probabilidade de 50% de cada célula ter vida. E permite que as interações entre as células ocorram por 10 gerações.

Conforme descrito na parte 1 deste texto, é natural que com as interações menos células vivas permaneçam no tabuleiro, o que por sua vez causa designs desconexos. No caso, observou-se que apesar de não resolver por completo o problema, imprimir as células mortas ao contrário das vivas geram menos designs desconexos que as configurações nas quais se imprime as células vivas. Ainda no processo, decidiu-se aplicar a mesma técnica utilizada com o DLA e apenas imprimir as células finais no Blender ao invés de realizar todo o processamento dentro dele. Neste sentido, reparou-se que o problema de cubinhos presos apenas por uma aresta era um problema de configuração do espaçamento que deveria haver entre os cubinhos que compõe o design.

A princípio estava usando o espaçamento de modo a pegar a coordenada e multiplicar por dois, o que por sua vez corresponde a distância do comprimento da aresta do cubo, e com isso os cubinhos eram impressos justapostos, no entanto, a sobreposição era necessária para tornar o design conexo. Assim, ao alterar-se o parâmetro de espaçamento de 2 para 1.8 os cubinhos apresentavam uma pequena sobreposição, eliminando o problema de cubinhos presos por uma aresta definitivamente. Portanto, os parâmetros utilizados para a geração dos designs finais consistiam em imprimir os valores iguais as células mortas e utilizar um espaçamento de 1.8.

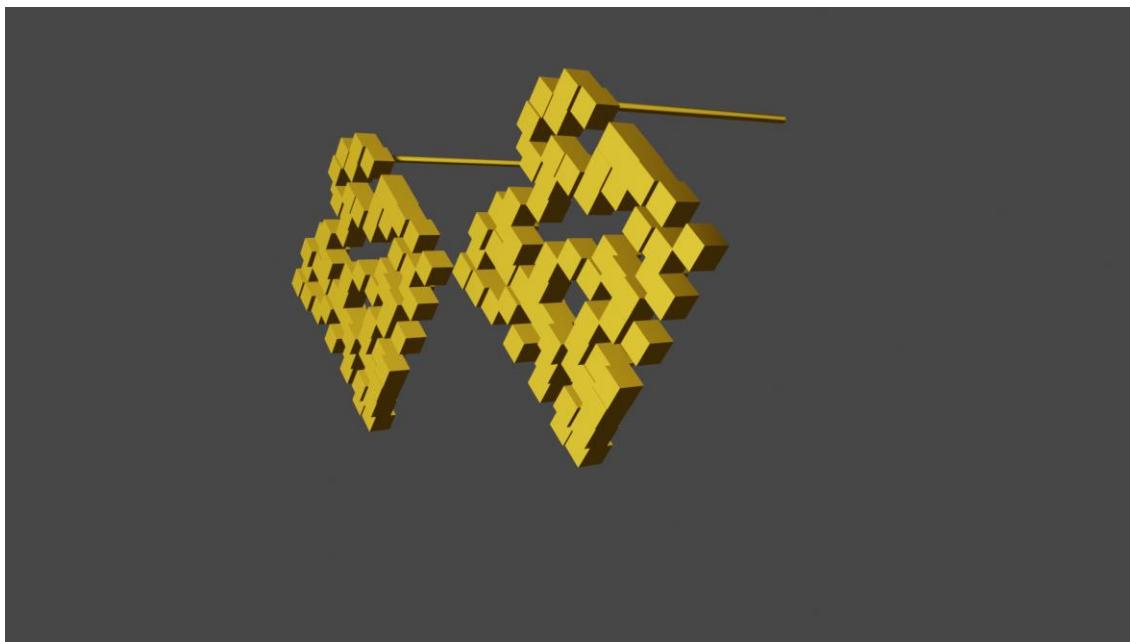
**Imagen 27 – Lógica do espaçamento**



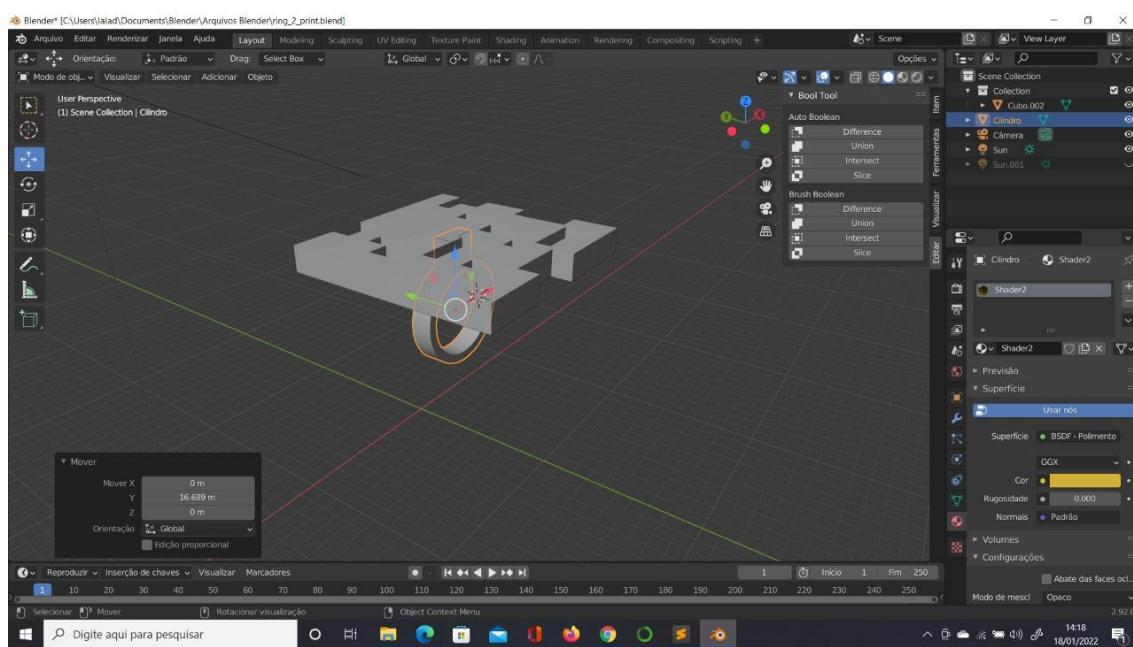
No Blender, ao desenhar um quadrado, as coordenadas passadas como referência indicam onde se encontra o centro do cubo, na imagem indicada pelas cruzes vermelhas. Quando se determina o espaçamento como 2 o que estamos fazendo é indicar para o Blender que a próxima coordenada deve ficar a uma distância duas vezes maior que a anterior, o que por sua vez corresponde ao tamanho da aresta. Assim não há sobreposição. Mas como observado na figura da direita, temos uma pequena sobreposição quando configuramos o espaçamento para 1.8.

Com a correção dos problemas mencionados, desenvolveu-se novos designs que por sua vez puderam ser prototipados, através da impressão 3D. Ainda ao longo do desenvolvimento do trabalho, pensou-se em testar um algoritmo que misturasse o jogo da vida de Conway com o DLA. A ideia era fazer as células “caminharem” segundo a lógica do jogo da vida, mas definir uma célula fixa na qual, caso as outras células colidissem, ficassem presas. Mas os resultados não foram visualmente relevantes para o trabalho.

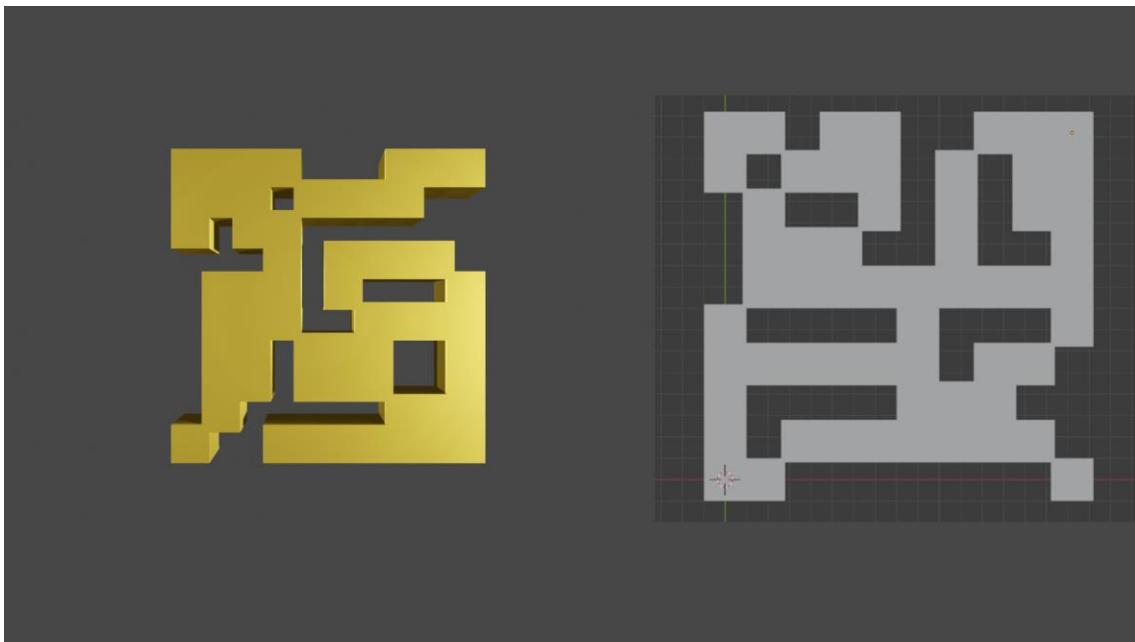
**Imagen 28 – Brincos JVC**



**Imagen 29 – Anel JVC**



**Imagen 30 – Pingentes**



### c. Documentação do código

Na primeira parte do trabalho, estabeleceu-se alguns parâmetros para guiar o desenvolvimento do código. A princípio imaginou-se implementar algoritmos de autômatos celulares, que recebessem dados como *input* que por sua vez influenciassem na construção do design. Imaginou-se que eles seriam codificados através de *scripts* e conseguira-se usar de inspirações para conduzir os designs gerados. Isso em vista alguns desses parâmetros foram concretizados enquanto outros sofreram adaptações.

Em relação a explorar algoritmos de autômatos celulares os códigos desenvolvidos cumprem tal requisito, já que foi implementado o Jogo da Vida de Conway, mas não se limitando a eles. Afinal, também se utilizou o DLA como algoritmo de design. Sobre os dados utiliza-se dados como entrada, mas não como parte do processo de parametrização. No caso, os dados usados como entrada são as configurações de interesse resultantes dos algoritmos do JVC e DLA, enquanto a ideia original era utilizar dados, por exemplo climatológicos, ou de outros tópicos que a princípio não teriam relação com o trabalho para incrementar os designs. Entendeu-se que usar dados poderia aumentar a complexidade do trabalho e tirar o foco da busca por designs com estética mais relevante.

Ainda que não estejam explícitas em todos os designs, as inspirações estão presentes nas peças desenvolvidas. Formas matemáticas e geométricas são notáveis tanto nos designs gerados pelo JVC quanto pelo DLA, sendo inclusive usadas como unidade básica para a construção das figuras. A inspiração de cogumelos, por sua vez, não foi

muito explorada pelos designs finais. Já as inspirações ligadas aos fenômenos de turbulência, fractais e teorias do caos e complexidade foram aproveitadas, conforme descrito na primeira parte, na construção de algoritmos generativos que, por sua vez, apresenta propriedades, como por exemplo comportamento emergente, que remetem a tais áreas. Por fim, o programa foi desenvolvido através de *scripts* de texto, na linguagem Python. Os códigos resultantes se encontram disponíveis em: <https://github.com/LarissaDG/Monografia>.

No GitHub os códigos se encontram organizados em duas pastas: DLA\_Code e Jogo\_da\_vida\_Code os quais guardam respectivamente os algoritmos do *diffusion limited aggregation* e o jogo da vida de Conway. Além dessas duas pastas há também o arquivo print\_from\_file.py, o qual é o responsável por receber como entrada as saídas geradas pelo JVC e do DLA. Mais detalhes sobre a organização, o conteúdo dos arquivos e como executá-los podem ser observadas através do README. Note que os arquivos com extensão .py podem ser executados dentro do Blender enquanto os com .ipynb devem ser rodados em uma IDE (interface de desenvolvimento) que suporte esse tipo de arquivo. Isso foi feito, pois conforme supracitado, o Blender não conseguia realizar as etapas de processamento do código. Então optou-se por fazer o processamento em outra plataforma, no caso no Jupyter Notebook do Anaconda Navigator, e então imprimir os resultados através do script: print\_from\_file.py no Blender.

O código foi elaborado pensando em ser executado dentro do próprio Blender, e não através de um site ou em outra interface. Uma vez interpretado, o código pode gerar designs sozinho, ou seja, de maneira autônoma. Apesar disso, detalhes como por exemplo, o uso da forma como um anel, brinco ou pingente, estão a cargo do designer. Também é possível efetuar operações com os designs como rotações, espelhamentos, sobreposições, deformações, entre outras que ampliam ainda mais as possibilidades de designs. Tais características reforçam, portanto, a possibilidade de co-criação entre o sistema e o designer, ao mesmo tempo que se concretiza a proposta do presente trabalho de utilizar o computador não só como instrumento de finalização de ideias, mas também como um gerador de designs.

## **12. Peças**

O processo de criação e desenvolvimento das peças envolve uma série de etapas. Primeiro executa-se o algoritmo (no caso escolhe-se entre o jogo da vida de Conway e o *diffusion limited aggregation*). No caso do código apresentado no respectivo GitHub, o programa já adiciona o material, no caso simulando ouro, de forma procedural. Para

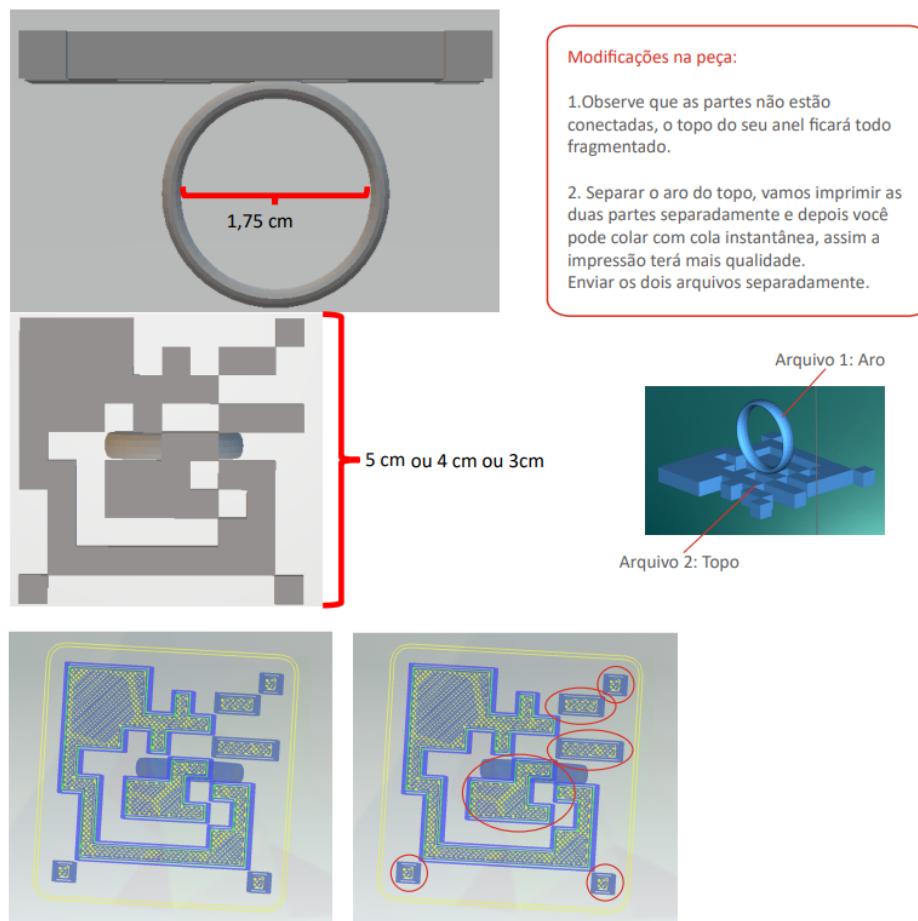
implementar tal funcionalidade, utilizou-se do código de (VIVIDFAX, 2021). Assim, todas as saídas já se encontram pré-finalizadas com aspecto de ouro polido. Em seguida, detalhes como aros de anel, tarrazas no caso de brincos, e outros detalhes relevantes devem ser adicionados à mão. Nesta etapa também podem ser alteradas as texturas do material, realizadas deformações ou outras operações de design. Uma vez satisfeita com a peça, exporta-se em formato. stl para então ser possível de imprimi-la em 3D.

Na metodologia do trabalho, dos itens 4 a 6 foi discorrido o processo esperado para a execução do trabalho, no entanto, algumas adaptações foram necessárias. O trabalho não apresentou uma coleção oficial no sentido que, as várias peças desenvolvidas por dois algoritmos distintos. Esses conjuntos de peças por sua vez formam a coleção desenvolvida neste trabalho, e neste documento apresentadas. Assim, além de não apresentar uma “coleção oficial” também não foi produzido um vídeo exclusivamente para apresentar tal coleção conforme sugerido no item 5 da metodologia. Entretanto o vídeo de apresentação final (vídeo-pitch), que compõe a avaliação do presente trabalho pode ser assistido no link: <https://youtu.be/Ag92tN2iHKE>.

No desenvolvimento desta etapa contou-se com a colaboração da professora Márcia França que sugeriu a prototipação dos designs como uma forma de analisar a viabilidade produtiva, problemas estruturais, além de aspectos ergonômicos. Assim, a professora Márcia indicou que se conversasse com a Natália Rosa do Laboratório de Experimentação Tridimensional da Escola de Arquitetura da UFMG.

Com a Natália combinou-se de imprimir alguns designs para teste. Ao todo foram selecionadas 6 peças para serem impressas, as quais duas peças eram resultados do JVC e as demais do DLA. No entanto, os arquivos originais não estavam adequados para a impressão. Na primeira tentativa ainda não havia sido corrigido o problema do espaçamento dos quadradinhos do JVC e, portanto, o programa de impressão entendia os cubinhos conectados por arestas como objetos a parte. Outro problema foi a falta de espessura de alguns designs gerados pelo DLA além do excesso de plástico necessário para suporte. Além disso, a Natália indicou que era melhor remover detalhes como pinos dos brincos e argolas de pingentes, já que poderiam ser adicionadas com metal posteriormente a impressão, e que no caso dos anéis o aro e o topo fossem enviados em arquivos separados.

**Imagen 31 – Anotações de problemas estruturais dos primeiros arquivos para impressão**



No processo de ajuste dos designs alguns desenhos tiveram de ser substituídos, já que as entradas e dados da configuração final não haviam sido salvos e, portanto, não era possível imprimi-los no Blender com o novo espaçamento (de 2 para 1.8). Os designs escolhidos são apresentados a seguir:

Imagen 32 – Formas seleccionadas para impressão 3D



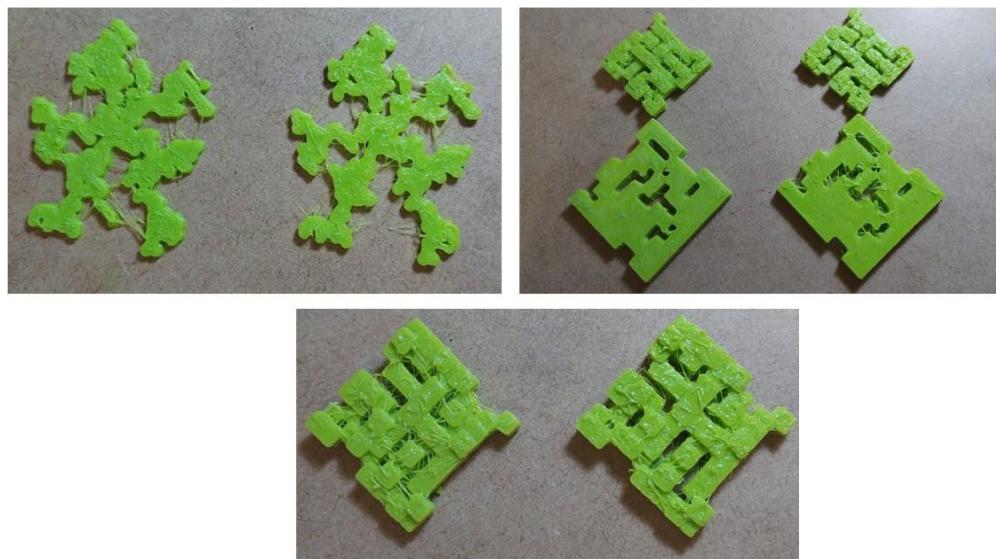
Como resultado da impressão 3D, algumas peças conseguiram ser impressas com sucesso. Os designs gerados a partir do JVC não apresentam problemas, e ficaram resistentes. Já os designs do DLA ficaram frágeis sendo alguns deles até difíceis de retirar da placa de impressão sem danificar. O anel mostrado na figura abaixo não obteve bons resultados na impressão, já que exigia muito material de suporte e o design era muito esparsos. No entanto, o brinco, o anel e o pingente do DLA foram impressos com sucesso, mas ainda são mais frágeis que os designs do JVC. Note que mesmo após serem impressas as peças ainda possuem um estilo bem definido, ou seja, ainda é possível identificar quais designs foram gerados pelo JVC e quais foram pelo DLA.

**Imagen 33 – Anel que falhou na impressão 3D**



**Imagen 34 – Anel JVC impresso em 3D**



**Imagen 34 – DLA impresso em 3D****Imagen 35 – Demais peças impressas em 3D**

Além da impressão 3D um dos designs gerados pelo JVC foi selecionado para ser confeccionado em prata. O design foi enviado como um desenho bidimensional conforme ilustrado na imagem 36 para o ourives, qu pegou o design e o recortou na chapa de metal. O resultado pode ser observado na imagem 37.

Imagen 36 – Imagem enviada para produzir a peça

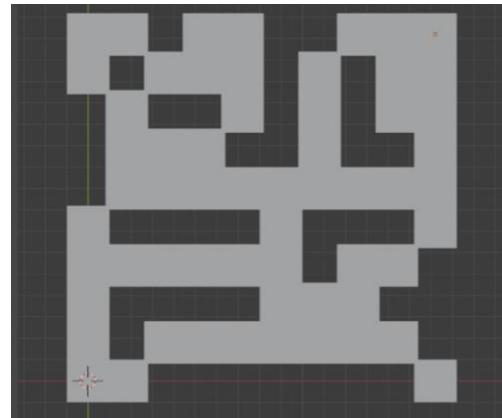


Imagen 37 – Peça produzida em prata



Tais resultados confirmam a viabilidade de produção de joias generativas não só por meio de impressão 3D, como também por métodos tradicionais de joalheria. Mantendo o estilo e a variabilidade estética mesmo no processo de produção.

### **13. Avaliação**

Conforme descrito no tópico 7 da metodologia, uma possível abordagem para avaliar sistemas criativos é descrita em (COLTON, 2011), que pode ser resumida em duas perspectivas distintas: avaliar o programa gerativo, e avaliar as peças geradas. Do ponto de vista do código, ao longo da sua implementação foram tomadas medidas e decisões que seguem boas práticas de programação como por exemplo, a modularização e o uso de controle de versão. Já sobre o aspecto de avaliação das peças geradas foram analisadas algumas estratégias.

Dentre as estratégias podemos citar o rastreamento ocular, a algorítmica e as entrevistas. Conforme descrito na revisão da literatura a principal forma de avaliação é através de rastreamento ocular ou *eyetracking* entretanto tal técnica apresenta fortes desvantagens como a alta complexidade e necessidade de equipamento especializado o que fez com que tal método fosse descartado. Uma segunda ideia era implementar um algoritmo seguindo a linha proposta por Kato e Matsumoto, em um artigo de 2020. No entanto essa técnica também não foi utilizada, pois é uma técnica nova a qual requer a realização de entrevistas para validar a análise efetuada pelos algoritmos. Logo, optou-se por elaborar um questionário, para avaliar a relevância estética dos designs.

O questionário foi elaborado por meio do Google Forms, com o objetivo de validar a estética das peças desenvolvidas e o interesse do público por esse tipo de produto. O questionário é anônimo e conta com 40 perguntas no total, entretanto não necessariamente o entrevistado precisa responder todas elas, já que algumas perguntas dependem das respostas anteriores. As perguntas coletam dados demográficos, geográficos, perfil de consumo de luxo e joias e percepção estética dos entrevistados. O questionário foi elaborado levando em consideração a escala Likert e foi pré- testado para garantir que todas as opções estivessem corretas e claras.

Uma vez pronto o formulário, ele foi divulgado e respondido por 40 pessoas, o que corresponde a 8 vezes o número de pessoas entrevistadas por (KIELAROVA, PRADUPHONGPHET, BOHEZ, 2015). Ele ficou aberto para respostas do dia 31 de janeiro de 2022 a 6 de fevereiro de 2022. A pesquisa quantitativa não apresenta um público alvo específico já que se pretende compreender as reações das pessoas em relação

aos resultados estéticos das peças desenvolvidas. A seguir discute-se os resultados obtidos.

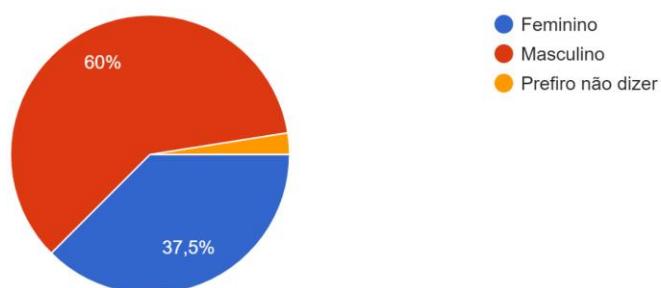
- **Dados demográficos**

Através dos gráficos gerados pelo Google Forms referentes aos dados demográficos é possível traçar o perfil das pessoas que responderam ao questionário como homens, solteiros de 20 a 35 anos.

**Gráfico 1 – Qual o seu sexo?**

Qual o seu sexo?

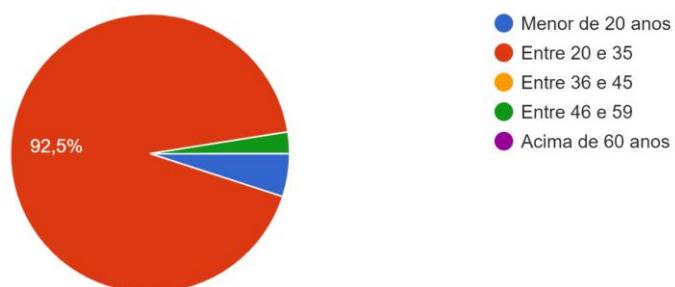
40 respostas



**Gráfico 2 – Qual a sua faixa etária?**

Qual a sua faixa etária?

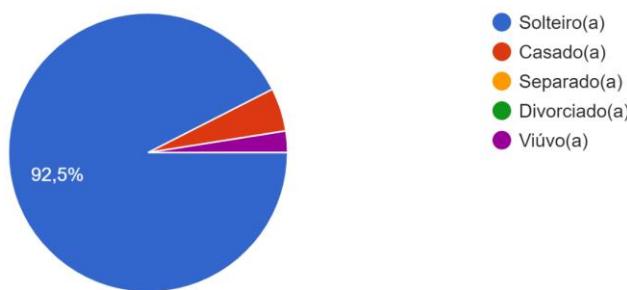
40 respostas



### Gráfico 3 – Qual o seu estado civil?

Qual o seu estado civil?

40 respostas



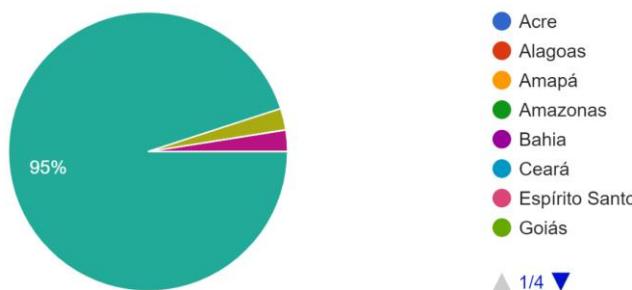
- **Dados geográficos**

Sobre os dados geográficos nota-se que 95% das pessoas são de Minas Gerais, e dessas 89% são de Belo Horizonte.

### Gráfico 4 – Qual o seu estado?

Qual o seu estado?

40 respostas



▲ 1/4 ▼

### Tabela 1 – Qual o sua cidade?

Cidade	Nº absoluto	%
araxá	1	2,50%
belo horizonte	34	85,00%
campo belo	1	2,50%
contagem	1	2,50%
itaúna	1	2,50%
mãe do rio	1	2,50%
são paulo	1	2,50%

- **Dados perfil de consumo de luxo**

Sobre os dados de perfil de consumo de luxo nota-se que artigos de vestuário, bebidas e hotéis ou viagens são os principais artigos consumidos pelos entrevistados. O fato de hotéis ou viagens serem indicados como um dos principais produtos de luxo a consumidos indica a preferência do público por investir em experiências, uma tendência notável no mundo todo. Além disso é interessante notar que joias e relógios ocupam a quarta posição dos principais produtos consumidos. Outros detalhes interessantes são o fato de 20% dos entrevistados afirmarem não consumirem produtos de luxo, além de três pessoas citarem celulares e artigos de tecnologia como produto de luxo sendo mencionada por uma delas especificamente o consumo de bitcoins.

**Gráfico 5 – Quais produtos de luxo você costuma consumir?**



Já através do gráfico 6, é possível observar que 32% dos entrevistados afirmaram comprar produtos de luxo frequentemente (no caso mais de uma vez ao ano), se acrescentarmos os 10% de entrevistados que responderam consumir produtos de luxo com muita frequência (toda semana ou mês) obtemos 42% do total. Já em relação ao número de pessoas que não consomem produtos de luxo é notável uma queda em relação a pergunta anterior, já que na primeira 20% afirmaram não comprar tais produtos e na segunda tal porcentagem caiu para 12.5%.

### Gráfico 6 – Com qual regularidade você consome produtos de luxo?

Com qual regularidade você consome produtos de luxo?

40 respostas

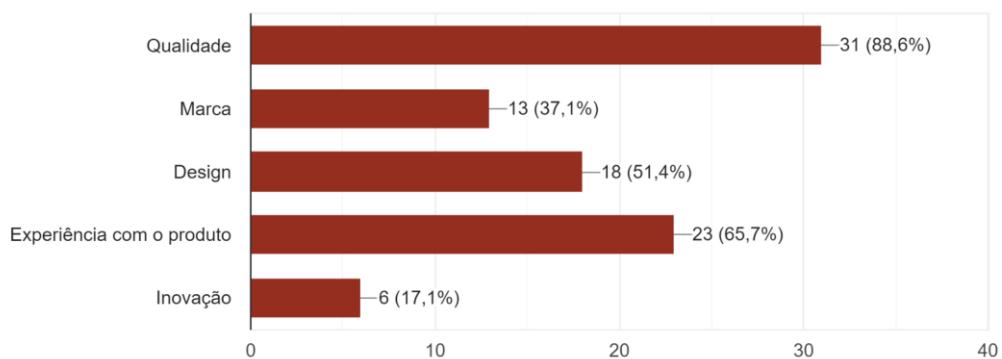


Nos gráficos 7, 8, 9 é importante reparar que o total ao qual se refere a porcentagem é diferente dos gráficos acima. As perguntas que se seguem foram respondidas por 87,5% dos entrevistados. Através deles fica evidente como as experiências tanto na loja como no produto impactam no consumo de luxo. Além disso também é possível observar que a maioria dos entrevistados associa o luxo a alta qualidade dos produtos.

### Gráfico 7 – O que te atrai no consumo desses produtos?

O que te atrai no consumo desses produtos? (Pode marcar mais de uma opção)

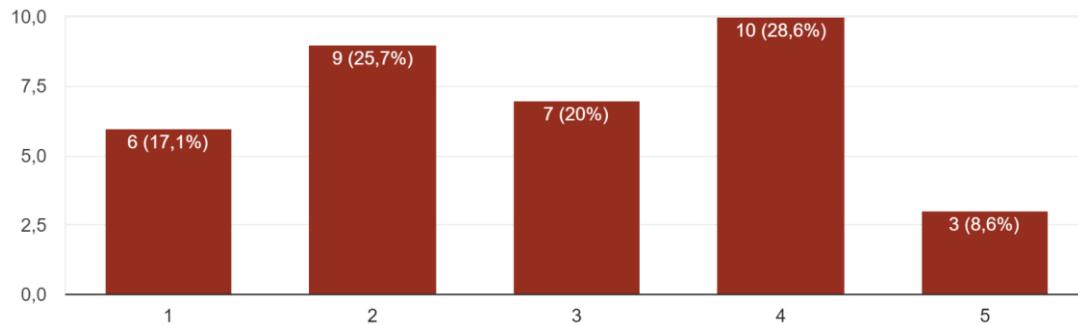
35 respostas



### **Gráfico 8 – Quanto a exclusividade influencia no seu consumo de produtos de luxo?**

Quanto a exclusividade influencia no seu consumo de produtos de luxo? (Sendo 1 influência pouco e 5 influência muito)

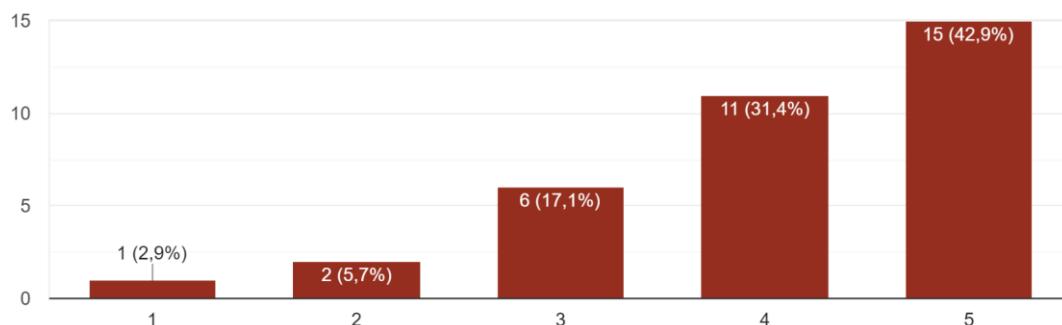
35 respostas



### **Gráfico 9 – O quanto a experiência na loja, por exemplo: bom atendimento, influencia no seu consumo de luxo?**

O quanto a experiência na loja, por exemplo: bom atendimento, influencia no seu consumo de luxo? (Sendo 1 influência pouco e 5 influência muito)

35 respostas



- Dados perfil de consumo de joias**

Das 35 pessoas que responderam à pergunta do gráfico 10, 42,9% afirmaram não comprar joias. O que por sua vez leva a redução de 35 para 20 pessoas que responderam à questão indicada no gráfico 11. No qual é possível observar duas fortes tendências de compra de joias ou para consumo pessoal ou devido a eventos. Tal fato mostra como o consumo de joalheria relaciona-se com a personalidade da pessoa, além de ser uma

forma de marcar conquistas e eventos sociais, ou seja, representar a história das pessoas que usam os adornos.

### Gráfico 10 - Com qual regularidade você consome joias?

Com qual regularidade você consome joias?

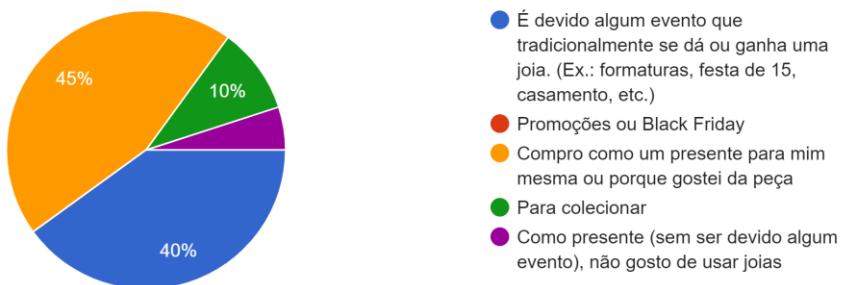
35 respostas



### Gráfico 11 - Quando você costuma consumir joias...

Quando você costuma consumir joias... (Marque a opção que tem mais haver com você)

20 respostas

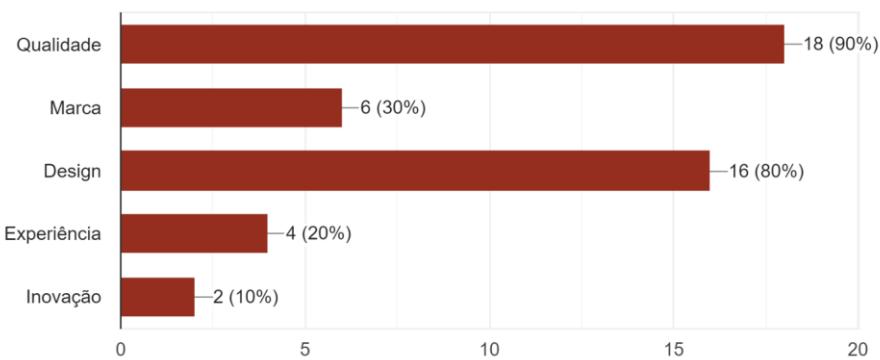


Dentre as pessoas que consomem joias a qualidade e o design são os fatores mais relevantes para adquirir uma peça. Tal pergunta esclarece, portanto, a importância de se fazer a análise estética das peças desenvolvidas neste trabalho.

### Gráfico 12 - O que você procura quando consome uma joia?

O que você procura quando consome uma joia?

20 respostas

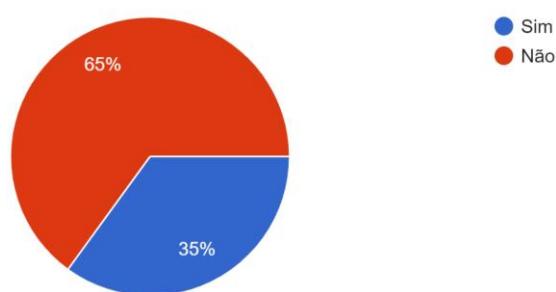


Em relação as perguntas dos gráficos 13, 14, 15 e 16. Nota-se que as pessoas não sentem falta de designs modernos na joalheria. Mas a possibilidade de personalizar uma joia, ou encomendar uma joia personalizada divide opiniões, havendo aqueles que sentem falta deste tipo de experiência e outros não. De modo análogo, os entrevistados não apresentaram forte tendência, quando questionados se pagariam a mais para ter uma joia exclusiva.

### Gráficos 13 - Você sente falta de designs modernos na joalheria?

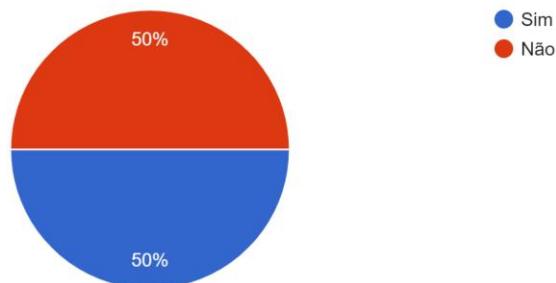
Você sente falta de designs modernos na joalheria?

20 respostas



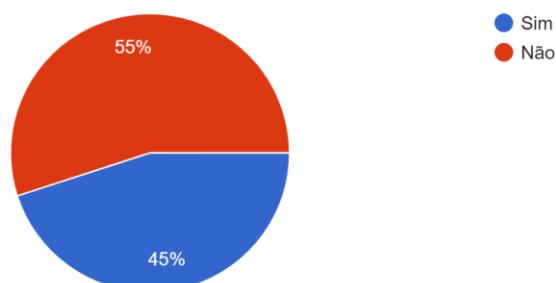
### **Gráficos 14 - Você sente falta da possibilidade de personalizar uma joia?**

Você sente falta da possibilidade de personalizar uma joia?  
20 respostas



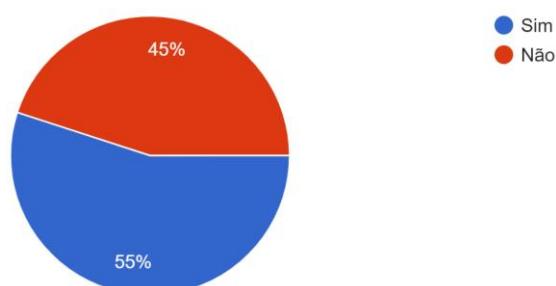
### **Gráficos 15 - Você sente falta de poder encomendar uma joia, de acordo com o que você imagina dela?**

Você sente falta de poder encomendar uma joia, de acordo com o que você imagina dela?  
20 respostas



### **Gráficos 16 - Você pagaria a mais para ter uma joia exclusiva?**

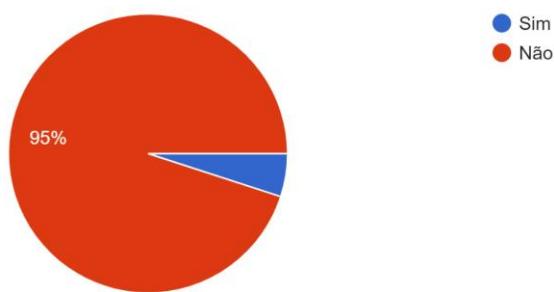
Você pagaria a mais para ter uma joia exclusiva?  
20 respostas



Em relação a joias generativas, 95% disseram não saber do que se trata. Dentre as associações feitas com o tema foram: “Bens de Veblen”, “Uma jóia criada de acordo com parâmetros estabelecidos.”, “Uma jóia com um design que imita a natureza” e “Alguma objeto ou jóia que sejam únicos”

#### **Gráficos 17 - Você sabe o que é uma jóia generativa ou uma jóia procedural?**

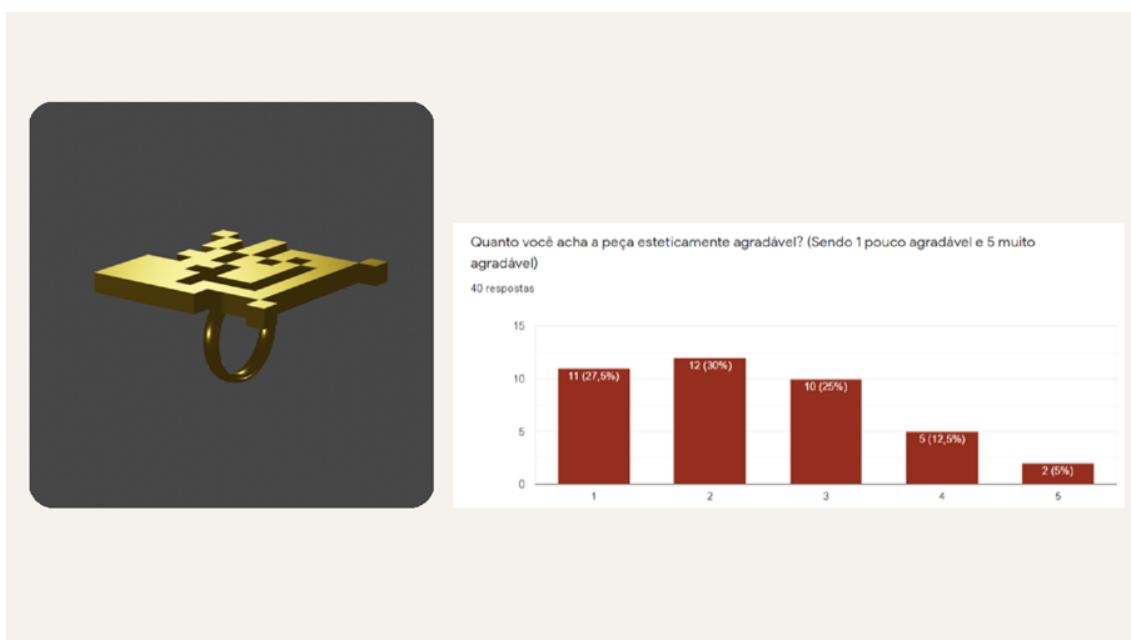
Você sabe o que é uma jóia generativa ou uma jóia procedural?  
20 respostas



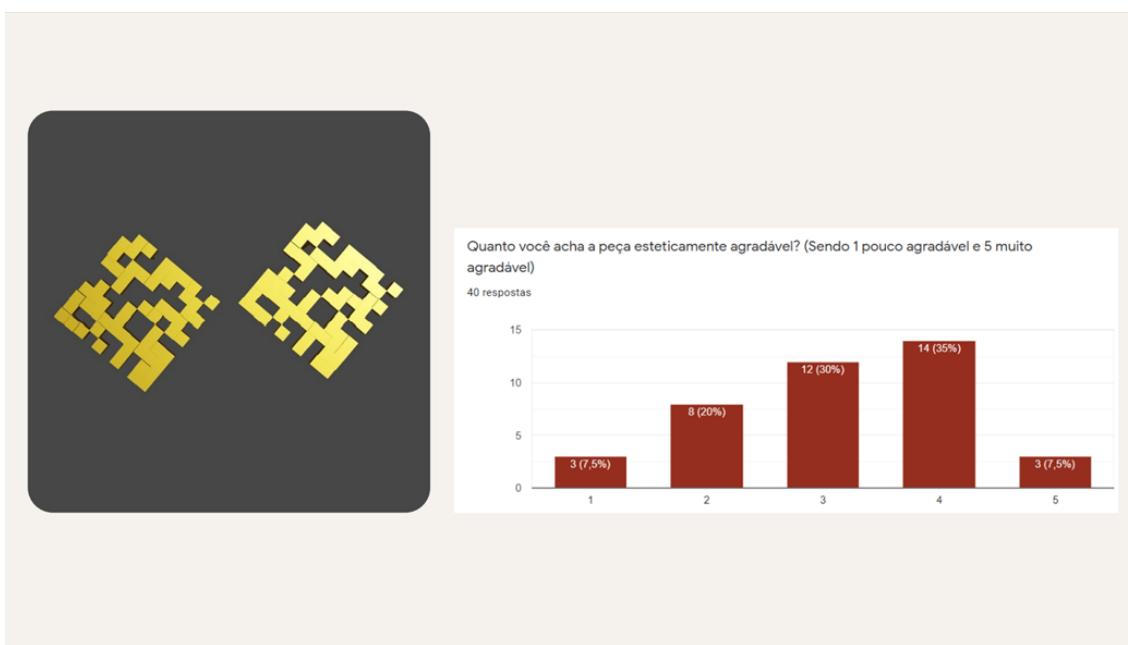
- **Dados análise estética das peças**

Sobre o anel apresentado, a maioria não o achou bonito ou esteticamente agradável. Já que 55% dos 40 entrevistados votaram que não acharam o anel bonito, e por meio do gráfico apresentado na imagem, é possível notar que a 45% das pessoas avaliaram o design como pouco agradável enquanto 27,5% indicaram gostar do design e 27,5% serem neutros em relação a ele. 90% dos entrevistados afirmaram não usar a peça acima, o que faz algum sentido dado que a maioria dos entrevistados foram homens, mas quando questionados se comprariam esta peça para presentear, por exemplo a porcentagem de pessoas que não compraria cai para 80%.

**Imagen 38 – Anel JVC e gráfico avaliação estética**

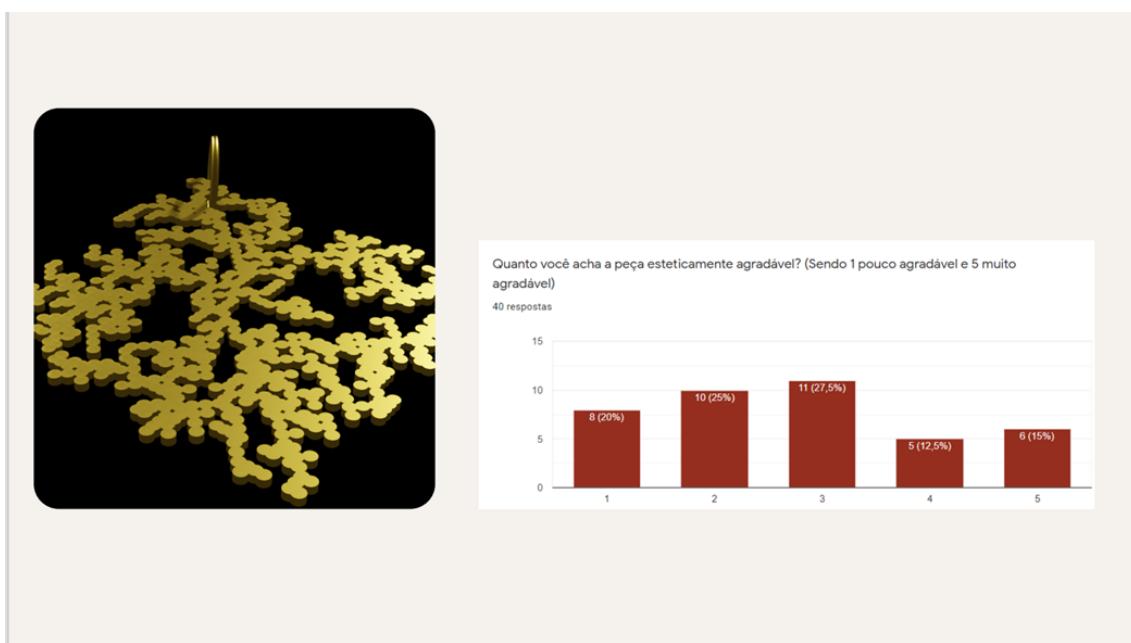


Em relação aos brincos apresentados abaixo, agradou mais aos entrevistados 65% das pessoas afirmaram achar o design bonito, sendo que de 40 pessoas 42.5% afirmou ser esteticamente agradável, 30% se mostraram neutras e 27% não acham o design agradável. Como na resposta anterior muitas pessoas declararam que não usariam a peça (75%), o que provavelmente se deve ao perfil dos entrevistados. No entanto, ao contrário do anel 57,5% afirmaram que comprariam a peça. Isto pode ser consequência do fato de que os brincos sugerem uma simetria que não é observada no anel, justamente por serem mostrados em par. Outra hipótese, para tal resultado, é o estranhamento do estilo dos designs à primeira vista. Os designs gerados pelo jogo da vida de Conway foram comumente associados a imagens lógicas e racionais, como “quadrado”, “geométrico”, “QR code”, “Abstrato” e “Labinto”.

**Imagen 39 – Brinco JVC e gráfico avaliação estética**

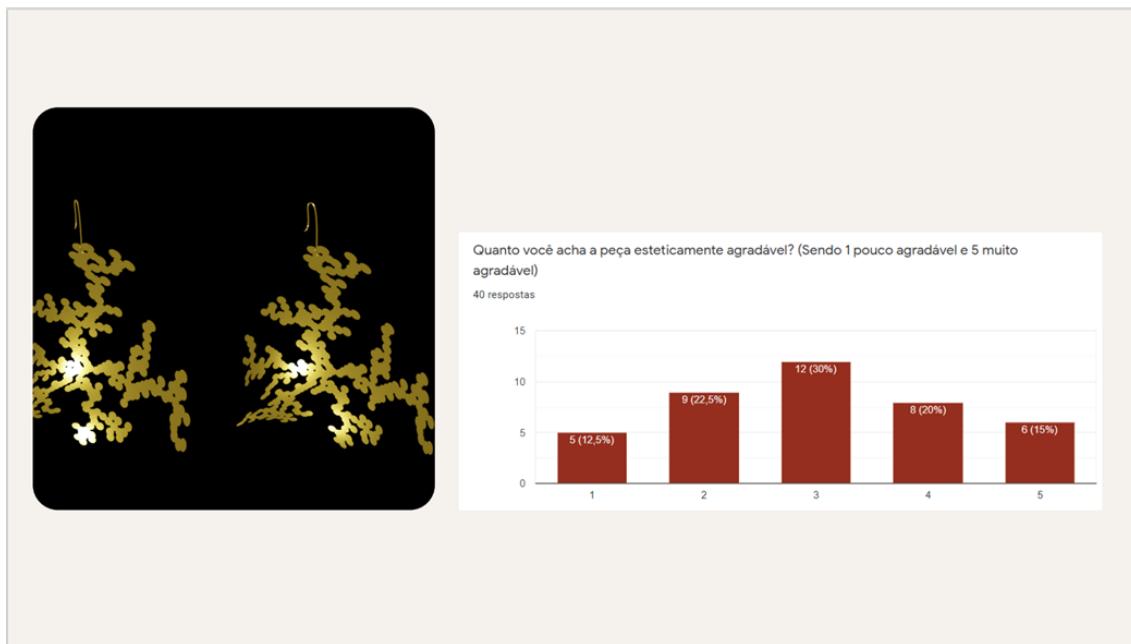
Em relação ao pingente gerado pelo DLA ilustrado na imagem 40, 55% das pessoas afirmaram não acharem o design bonito. Pelo gráfico da imagem notamos um padrão similar ao anel gerado pelo JVC, pois também em relação ao pingente 45% das pessoas avaliaram o design como pouco agradável enquanto 27,5% indicaram gostar do design e 27,5% serem neutros em relação a ele. 80% das pessoas afirmaram não ter interesse em usar a peça e 69,2% negaram ter interesse em comprar a peça.

**Imagen 40 – Pingente DLA e gráfico avaliação estética**

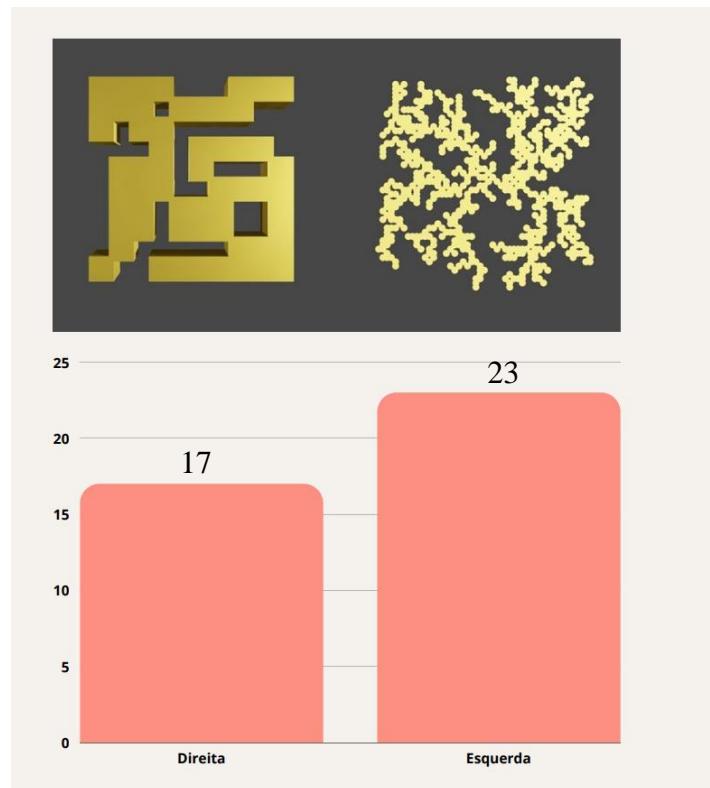


Em relação ao brinco DLA, notou-se que as pessoas, assim como no caso das peças geradas pelo JVC mostradas acima, o acharam mais bonito que o pingente, já que 52,5% afirmaram que achavam o design dos brincos bonitos. No gráfico da imagem abaixo, é possível notar que 35% das pessoas afirmaram não achar o design esteticamente agradável, 30% acharam o design neutro e 35% acharam os brincos esteticamente agradáveis. 80% dos entrevistados afirmaram que não usariam a peça, mas 32,5% afirmaram que a comprariam. Dentre os principais termos associados ao estilo do DLA temos: “árvore”, “flores”, “orgânico”, “floco de neve”, ou seja, elementos que remetem a natureza.

**Imagen 41 – Brinco DLA e gráfico avaliação estética**



**Imagen 42 – Comparação estilos e gráfico de preferências**



Por fim, conforme ilustrado na imagem 42, 57% das pessoas acharam a estética do *diffusion limited aggregation* mais agradável que a gerada pelo jogo da vida de Conway.

## 14. Conclusão – Parte 2

Assim, ao longo do texto, apresentou-se o que é arte generativa e como ela se relaciona com os designs de joias. Demonstrou-se o potencial da tecnologia do ponto de vista estético, já que algoritmos distintos criam designs com estilos diferentes, e dentro de um mesmo algoritmo há uma infinidade de designs e padrões que podem ser gerados, sendo esse espaço de criação expandido por meio da intervenção humana que pode co-criar com o sistema. Além disso, também se mostrou a viabilidade produtiva, tanto por meio da prototipação das peças em 3D quando pelos métodos tradicionais de ourivesaria com a peça em prata. Em relação a avaliação, conclui-se que o código segue boas práticas de programação, e que dentre os designs gerados para este trabalho as pessoas entrevistadas tendem a preferir o estilo orgânico do *diffusion limited aggregation*.

## 15. Referências Bibliográficas

- 3BLUE1BROWN. Youtube. **Charme do Fractal:** curvas de preenchimento do espaço. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=RU0wScIj36o>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- 3BLUE1BROWN. Youtube. **Fractals are typically not self-similar.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=gB9n2gHsHN4>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- 3BLUE1BROWN. Youtube. **Why 5/3 is a fundamental constant for turbulence.** Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=\\_UoTTq651dE](https://www.youtube.com/watch?v=_UoTTq651dE)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- ADOBE BENELUX. Youtube. **Jessica Rosenkrantz about creativity on FITC hosted by Adobe.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=tmd5YyivgnU>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- AIARTISTS. Generative Art Guide: Examples, Software and Tools to Make Algorithm Art. **AIArtistis.** Disponível em: <<https://aiartists.org/generative-art-design>>. Acesso em: 11 Maio 2021.
- ALLEGRO. **Welcome to Allegro!** Disponível em: <<https://liballeg.org/>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- ALVIM, Mário. **A Tese de Church-Turing e Máquinas de Turing.** [S. l.], 1. sem. 2020. Disponível em: [https://homepages.dcc.ufmg.br/~msalvim/?page\\_id=631](https://homepages.dcc.ufmg.br/~msalvim/?page_id=631). Acesso em: 2 ago. 2020.

ANADOL, R. Art in the age of machine intelligence. **YouTube**, 19 Agosto 2020. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=UxQDG6WQT5s>>. Acesso em: 14 Junho 2021.

ANADOL, R. WDCH Dreams. **Refik Anadol**. Disponivel em: <<https://refikanadol.com/works/wdch-dreams/?i=m>>. Acesso em: 14 Junho 2021.

ARAÚJO, L. Youtube. **A Geometria, Fractais e os padrões da Natureza.**, 14 Junho 2020. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-L-WXqitX1Q>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

ARENDEWW. food4Rhino. **SCRIPTPARASITE FOR GRASSHOPPER**. Disponivel em: <<https://www.food4rhino.com/en/app/scriptparasite-grasshopper?lang=en>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

ARTCAM. **Delcam Designer - Full 3D Design Enviroment**. Disponivel em: <<http://www.delcam.com.tw/artcam/delcam-designer/key-features/3d-design-environment.html>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

AUTODESK. **Generative Design Holds the Key to the Future of Cool, Fuel-Efficient Car Design**. [S. l.], 30 jul. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nyktrIgj2C4>. Acesso em: 19 fev. 2022.

AUTODESK. **The Future of Making Things: Generative Design**. [S. l.], 15 jul. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=E2SxqUvtpIk&t=66s>. Acesso em: 19 fev. 2022.

AUTODESK. **GETTING STARTED WITH GENERATIVE DESIGN IN FUSION 360**. Autodesk. Disponivel em: <<https://www.autodesk.com/campaigns/generative-design/free>>. Acesso em: 14 Junho 2021.

AUTODESK. **What is Fusion 360?** Disponivel em: <<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

AUTODESK. **ArtCAM is no longer available.** Disponivel em: <<https://www.autodesk.com/products/artcam/overview>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

AUTODESK. **Revit**. Disponivel em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

AUTODESK. **Conheça a ferramenta Dynamo da Autodesk e saiba como funciona**, 14 Agosto 2018. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/search-result/caas/simplecontent/content/conhe%C3%A7a-ferramenta-dynamo-da-autodesk-e-saiba-como-funciona.html>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

AUTODESK HELP. Autodesk. **Conceitos de NURBS**, 18 Setembro 2018. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/clouddhelp/2019/PTB/3DSMax-Modeling/files/GUID-C99618D4-8AB8-4476-A313-4D4519B0DDCF-htm.html>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

BEHREANDT, J. Medium. **Scripting Curves In Blender With Python**, 25 Setembro 2018. Disponível em: <<https://behreajj.medium.com/scripting-curves-in-blender-with-python-c487097efd13>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

BENEHANS. Youtube. **Coding the GAME OF LIFE in Blender in 2.5D**, 9 Maio 2020. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=qnNAKhG\\_TY](https://www.youtube.com/watch?v=qnNAKhG_TY)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

BENTLEY. **Computational Design Software**. Disponível em: <<https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/generativecomponents>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

BERNDT, René et al. **Ring's anatomy—parametric design of wedding rings**. Content, v. 4, p. 72-78, 2012.

BERTACCHINI, Francesca et al. **Multi-objective optimization and rapid prototyping for jewelry industry: methodologies and case studies**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 112, n. 9, p. 2943-2959, 2021.

BLENDER. **Home Page**. Disponível em: <<https://www.blender.org/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

BLENDER. **Python API Overview**. Disponível em: <[https://docs.blender.org/api/current/info\\_overview.html](https://docs.blender.org/api/current/info_overview.html)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

BLENDER. **Structure**. Disponível em: <<https://docs.blender.org/manual/pt/2.80/modeling/meshes/structure.html>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

BODEN, Margaret A.; EDMONDS, Ernest A. **What is generative art?**. Digital Creativity, v. 20, n. 1-2, p. 21-46, 2009.

BOURKE, Paul. **DLA - Diffusion Limited Aggregation**. [S. l.], Setembro 2014. Disponível em: <http://paulbourke.net/fractals/dla/>. Acesso em: 19 fev. 2022.

CARVALHO, Laura et al. **Sistemas de produção na joalheira: Do projeto à entrega do produto final**. [S. l.]: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais / CETEC, Outubro 2012. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjc2NTg=>. Acesso em: 24 jun. 2021

CGMATTER. Youtube. **First Time Programming In Blender?** Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=45WZWqmpRQE>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

CHEN, Y. Youtube. **differential growth based on spline-curve**, 12 Outubro 2019. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=7yWplNhAON0&t=53s>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

CINDER. **The Third Dimension**. Disponivel em: <<https://libcinder.org/docs/guides/opengl/part2.html>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

CODEPARADE. Youtube. **Chaos Equations - Simple Mathematical Art**. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fDSIRXmnVvk&t=169s>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

COLTON, S. Lecture One: Introduction to Computational Creativity. **Computational Creativity Reaserch Group Goldsmiths University of London**, 2011. Disponivel em: <[http://ccg.doc.gold.ac.uk/ccg\\_old/teaching/computational\\_creativity/cc\\_lecture1.pdf](http://ccg.doc.gold.ac.uk/ccg_old/teaching/computational_creativity/cc_lecture1.pdf)>. Acesso em: 11 Junho 2021.

COLTON, Simon et al. **Computational creativity: The final frontier?**. In: Ecai. 2012. p. 21-26.

COMPUTER HISTORY MUSEUM. **Meeting on Gauguin's Beach**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.computerhistory.org/revolution/computer-graphics-music-and-art/15/231/745>. Acesso em: 28 jun. 2021.

CONTI, M. The incredible inventions of intuitive AI. **Youtube**, 28 Fevereiro 2017. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=aR5N2Jl8k14>>. Acesso em: 11 Junho 2021.

CRANE, Keenan; WEISCHEDEL, Clisse; WARDETZKY, Max. **Geodesics in heat: A new approach to computing distance based on heat flow.** ACM Transactions on Graphics (TOG), v. 32, n. 5, p. 1-11, 2013.

CSSCONF AUSTRALIA. Tim Holman - Generative Art Speedrun. **YouTube**, 10 Abril 2018. Disponivel em: <[https://www.youtube.com/watch?v=4Se0\\_w0ISYk](https://www.youtube.com/watch?v=4Se0_w0ISYk)>. Acesso em: 11 Maio 2021.

DAILY, B. Youtube. **Artistic Coding in Blender by David Mignot**, 29 Dezembro 2020. Disponivel em: <[https://www.youtube.com/watch?v=r8hqLh\\_HE08](https://www.youtube.com/watch?v=r8hqLh_HE08)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

DATEMA, G. Youtube. **[https://www.youtube.com/watch?v=egxBK\\_EGauM&t=294s](https://www.youtube.com/watch?v=egxBK_EGauM&t=294s)**, 24 Janeiro 2021. Disponivel em: <[https://www.youtube.com/watch?v=egxBK\\_EGauM&t=294s](https://www.youtube.com/watch?v=egxBK_EGauM&t=294s)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

DAVIDSON, S. Rhino Developer Docs. **Your First Python Script in Rhino (Windows)**, 5 Dezembro 2018. Disponivel em: <<https://developer.rhino3d.com/guides/rhinopython/your-first-python-script-in-rhino-windows/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

DEZEEN. **Lionel T Dean's 3D-printed gold collection aims to transform the jewellery industry.** [S. l.], 8 set. 2015. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=t7\\_HNEncd3o](https://www.youtube.com/watch?v=t7_HNEncd3o). Acesso em: 19 fev. 2022.

DOCUMENTARIES, S. Youtube. **Fractals in Nature**, 5 Janeiro 2021. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=rGwwydEWLiI>>. Acesso em: 5 Setembro 2021.

DOLABELLA, L.; GUTIERREZ, F. MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIOS: Aplicação no Setor Joalheiro, Belo Horizonte, 2019.

DHIRENDRA. **HOW TO RUN A PYTHON SCRIPT IN BLENDER?** [S. l.], 27 ago. 2018. Disponível em: <https://learnsharewithdp.wordpress.com/2018/08/27/how-to-run-a-python-script-in-blender/>. Acesso em: 19 fev. 2022.

ENTAGAMA. Youtube. **Differential Mesh Growth - The Quick Way**. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=LgAt2FWJ0V0>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

EVOLUTION, T. C. / . M. Youtube. **Jessica Rosenkrantz – Generative Design | The Conference 2016**, 23 Setembro 2016. Disponivel em:

<<https://www.youtube.com/watch?v=NC4Tk6alWg&t=3s>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

FATMA, Nosheen et al. **Prospects of Jewelry Designing and Production by Additive Manufacturing.** Current Advances in Mechanical Engineering, p. 869, 2021.

FISCHER, Thomas; HERR, Christiane M. **Teaching generative design.** 2001.

F, Y. Youtube. **Procedural mushrooms,** 22 Maio 2020. Disponivel em: <[https://www.youtube.com/watch?v=RCdjXeu\\_Juc](https://www.youtube.com/watch?v=RCdjXeu_Juc)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

FITCEVENTS. Youtube. **https://www.youtube.com/watch?v=pnuP1eI85UE**, 18 Abril 2015. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pnuP1eI85UE>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

FITCEVENTS. Youtube. **Jessica Rosenkrantz - Growing Objects**, 18 Abril 2015. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=C4eHJ8ZJgG4>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

FUGIER, D. Rhino Developer Docs. **What are VBScript and RhinoScript?,** 5 Dezembro 2018. Disponivel em: <<https://developer.rhino3d.com/guides/rhinoscript/what-are-vbscript-rhinoscript/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

GEMVISION A stuller company. **System Requirements.** Disponivel em: <<https://gemvision.com/matrixgold/systemrequirements>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

GENERATED DESIGN. **Hyphae - growth of the Vessel Pendant by Nervous System.** [S. l.], 16 dez. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sKw9hyfsbLU>. Acesso em: 19 fev. 2022.

GENERATIVE Modelling Language. **Generative Modelling Language.** Disponivel em: <<https://web.archive.org/web/20060721140550/http://www.generative-modeling.org/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

GIBSON, E. Frank Gehry's Walt Disney Concert Hall illuminates with dream-like visuals. **Dezeen,** 4 Outubro 2018. Disponivel em: <<https://www.dezeen.com/2018/10/04/frank-gehry-walt-disney-concert-hall-dreams-projections-refik-anadol/>>. Acesso em: 14 Junho 2021.

GRASSHOPPER. **Photo.** Disponivel em: <<https://www.grasshopper3d.com/photo>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

- HANUSA, C. Wolfram. **Wolfram Community**, 2018. Disponível em: <<https://community.wolfram.com/groups/-/m/t/1270499>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- HAVEMANN, S. publikationsserver.tu. **Generative Mesh Modeling**, 16 Novembro 2005. Disponível em: <[https://publikationsserver.tu-brensburg.de/receive/dbbs\\_mods\\_00000008](https://publikationsserver.tu-brensburg.de/receive/dbbs_mods_00000008)>. Acesso em: 8 Setembro 2021.
- HU, H. Procedurally Generated Jewelry. **Henry Hu**. Disponível em: <<http://henry-hu.com/procedurally-generated-jewelry>>. Acesso em: 14 Junho 2021.
- INNOVATION, S. Youtube. **Visão geral da teoria da complexidade**, 17 Maio 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=i-ladOjo1QA>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- INNOVATION, S. Youtube. **What is a Complex System?**, 6 Maio 2017. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=vp8v2Udd\\_PM&t=495s](https://www.youtube.com/watch?v=vp8v2Udd_PM&t=495s)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- INTEGZA. Youtube. **Golden Ratio Turbine 3D Printed**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BxNHOMJGcj0&t=596s>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.
- JACOB, Christian; VON MAMMEN, Sebastian. **Swarm grammars: growing dynamic structures in 3D agent spaces**. Digital Creativity, v. 18, n. 1, p. 54-64, 2007.
- JAISAWAL, Rajneesh; AGRAWAL, Vandana. **Generative Design Method (GDM)—A State of Art**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. p. 012036.
- KATO, Takeo; MATSUMOTO, Taishi. **Morphological evaluation of closed planar curves and its application to aesthetic evaluation**. Graphical Models, v. 109, p. 101064, 2020.
- KHALIGHY, Shahabeddin. **Product design methodology supporting aesthetic evaluation**. 2015. Tese de Doutorado. University of Glasgow.
- KIELAROVA, Somlak Wannarumon. **Make Your Jewelry Design “Pop” with Generative Design**. The Santa Fé Symposium, 2019. Disponível em: <http://www.santafesymposium.org/2019-santa-fe-symposium/2019-make-your-jewelry-design-pop-with-generative-design>. Acesso em: 1 ago. 2021.

KIELAROVA, Somlak Wannarumon; PRADUJPHONGPHET, Prapasson; BOHEZ, Erik LJ. **New interactive-generative design system: hybrid of shape grammar and evolutionary design-an application of jewelry design.** In: International Conference in Swarm Intelligence. Springer, Cham, 2015. p. 302-313.

KIELAROVA, S. W.; PRADUJPHONGPHET, P.; BOHEZ, I. L. J. **An approach of generative design system: Jewelry design application.** In: 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. IEEE, 2013. p. 1329-1333.

LEO, E. Youtube. **Chaos, Turbulence and the Navier-Stokes equations**, 8 Dezembro 2019. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=DK2GvzWie4E&t=315s>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

LIANG, Haiyi; MAHADEVAN, L. Growth, geometry, and mechanics of a blooming lily. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 108, n. 14, p. 5516-5521, 2011.

LIANG, Haiyi; MAHADEVAN, Lakshminarayanan. **The shape of a long leaf.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 106, n. 52, p. 22049-22054, 2009.

LISTA de exercícios Programação e Desenvolvimento de Software 2 Revisão de C++. [S. l.], 2020. PDF.

LIU, Peng et al. **An aesthetic measurement approach for evaluating product appearance design.** Mathematical Problems in Engineering, v. 2020, 2020.

MACHADO, Penousal; CARDOSO, Amílcar. **NEvAr—the assessment of an evolutionary art tool.** In: Proceedings of the AISB00 Symposium on Creative & Cultural Aspects and Applications of AI & Cognitive Science, Birmingham, UK. 2000.

MICHAELIS. **Dicionário escolar língua portuguesa.** 1ª. ed. São Paulo: Melhoramentos, 2002.

NERDOLOGIA. Youtube. **CAOS E EFEITO BORBOLETA | Nerdologia.** Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=C4eHJ8ZJgG4>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

NERDOLOGIA. Youtube. **Fractais | Nerdologia.** Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=nMyoA4OrlT0>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

NERVOUS System. **Nervous System.** Disponivel em: <<https://n-e-r-v-o-u-s.com/index.php>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

NERVOUS System. **About Us.** Disponivel em: <[https://n-e-r-v-o-u-s.com/about\\_us.php](https://n-e-r-v-o-u-s.com/about_us.php)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

NERVOUS SYSTEM. **Brass vessel pendant.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=229>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NERVOUS SYSTEM. **Cellular engagement ring.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=375>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NERVOUS SYSTEM. **Corolla earrings.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=319>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NERVOUS SYSTEM. **Flora collar.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/product.php?code=274>. Acesso em: 27 jun. 2021.

NERVOUS SYSTEM. Home. **Nervous system.** Disponivel em: <<https://n-e-r-v-o-u-s.com/index.php>>. Acesso em: 14 Junho 2021.

NOVO, Benigno. **Manual para a construção de um trabalho de conclusão de curso (TCC).**[S.1.].Disponível:<https://meuartigo.brasilescola.uol.com.br/educacao/manual-para-construcao-um-trabalho-conclusao-curso-tcc.htm>. Acesso em: 15 jun. 2021.

OLIVER. Youtube. **Reaction Diffusion 3D.** Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JtPYxgPcKzo>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

OLSON, A. J. Github. **Blender-Python-Procedural-Level-Generation.** Disponivel em: <<https://github.com/aaronjolson/Blender-Python-Procedural-Level-Generation>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

OPARA, Anastasia. **Procedural Lake Village Houses in Houdini.** [S. l.], 20 out. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EL4pKdahqbI>. Acesso em: 19 fev. 2022.

OPENFRAMEWORKS. **Three-dimensional graphics classes and functions.** Disponivel em: <<https://openframeworks.cc/documentation/3d/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

OSLO, A. J. Youtube. **How to build a 3D procedural level generator in Blender using a random walk algorithm in**, 10 Março 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=29SxDeGFLfk>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

PARACLOUD1. YouTube. **iRing - Getting Started**, 7 Outubro 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=YNeAVEQSa2g>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

PEASE, Alison; COLTON, Simon. **Computational Creativity Theory: Inspirations behind the FACE and the IDEA models**. In: ICCC. 2011. p. 72-77.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Pró-Reitoria de Graduação. Sistema Integrado de Bibliotecas. **Orientações para elaboração de trabalhos científicos:** projeto de pesquisa, teses, dissertações, monografias, relatório entre outros trabalhos acadêmicos, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 3. ed. rev. atual. Belo Horizonte: PUC Minas, 2019. Disponível em: [www.pucminas.br/biblioteca](http://www.pucminas.br/biblioteca). Acesso em: 11 de junho de 2021

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Pró-Reitoria de Graduação, Sistema Integrado de Bibliotecas. **Orientações para aplicabilidade das normas nos elementos pré-textuais, textuais e pos textuais:** conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 3. ed. rev. atual. Belo Horizonte, PUC Minas, 2019. Disponível com [www.pucminas.br/biblioteca](http://www.pucminas.br/biblioteca). Acesso em: 11 de junho de 2021

PROCESSING. **Processing Examples**. Disponível em: <<https://processing.org/examples/>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

PRUSINKIEWICZ, P.; LINDENMAYER, A. **The Algorithmic Beauty of Plants**. New York: Springer-Verlag, 1990.

QUILEZ, I. Youtube. **"Geodes" - 3D Julia set fractals**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=rQ2bnU4dkso>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

RHINO Developer Docs. **RhinoScript Guides**. Disponível em: <<https://developer.rhino3d.com/guides/rhinoscript/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

RHINO Development. **Getting Started with Rhino Development**. Disponível em: <<https://developer.rhino3d.com/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

RHINOCEROS. **Rhinoceros Features**. Disponível em: <<https://www.rhino3d.com/features/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

RINGDON-BEL, D. Rhino Developer Docs. **What is a Rhino Plugin**, 3 Setembro 2021. Disponivel em: <<https://developer.rhino3d.com/guides/general/what-is-a-rhino-plugin/>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

ROBERTVIERL. Youtube. **shape search with octopus**, 8 Novembro 2013. Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=SlyXJE076BI>>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

ROSENKRANTZ, Jessica. **A TALE OF 7 KINEMATICS DRESSES: A RED DRESS, A MUSEUM ACQUISITION, + 5 MORE.** [S. l.], 2015. Disponível em: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=6915>. Acesso em: 27 jun. 2021.

SANSRI, Sunisa; KIELAROVA, Somlak Wannarumon. **Multi-objective shape optimization in generative design: Art deco double clip brooch jewelry design.** In: **IT Convergence and Security 2017**. Springer, Singapore, 2018. p. 248-255.

SANTOS, R. **Joias:** Fundamentos, processos e técnicas. São Paulo: Senac, 2017.

SCIFRI. Youtube. **Creating The Never-Ending Bloom.** Disponivel em: <<https://www.youtube.com/watch?v=B5p2A5mazEs&t=49s>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

SEBRAE. **Consumidor de joias busca design, personalidade e qualidade.** [S. l.], 19 nov. 2015. Disponível em: <https://respostas.sebrae.com.br/consumidor-de-joias-busca-design-personalidade-e-qualidade/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

SEBRAE. **Perfil dos consumidores de joias.** [S. l.], 13 jan. 2015. Disponível em: <https://respostas.sebrae.com.br/perfil-dos-consumidores-de-joias/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

SEGERMAN, H. Youtube. **Visualizing Mathematics with 3D Printing**, 2 Setembro 2016. Disponivel em: <[https://www.youtube.com/watch?v=JIM-IWh\\_-n0](https://www.youtube.com/watch?v=JIM-IWh_-n0)>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

SENAI (Rio de Janeiro). **Processos e boas práticas do setor de joias: Cartilha empresarial do Senai.** Rio de Janeiro: SENAI., 2015. 104 p.

SHAPEWAYS. **Shapeways.** Disponivel em: <<https://www.shapeways.com/>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

SHAPEWAYS. **About Us.** Disponivel em: <<https://www.shapeways.com/about>>. Acesso em: 9 Setembro 2021

SHIFFMAN, D. **The nature of code:** simulating natural systems with processing. [S.l.]: [s.n.], 2012.

SIDEFX. **Houdini.** Disponível em: <<https://www.sidefx.com/products/houdini/>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

SIGNIFICADOS.COM. **O que escrever na metodologia.** [S. l.], 26 fev. 2021. Disponível em: <https://www.significados.com.br/escrever-metodologia/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

STAFFORD, A. Procedurally Generated Jewelry. **Medium**, 29 Agosto 2018. Disponível em: <[https://medium.com/@alan\\_stafford/procedurally-generated-jewelry-1caf6ed9108b](https://medium.com/@alan_stafford/procedurally-generated-jewelry-1caf6ed9108b)>. Acesso em: 14 Junho 2021.

STANFORD ENCYCLOPEDIA OF PHILOSOPHY. Stanford Encyclopedia of Philosophy. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 26 Março 2012. Acesso em: 9 Setembro 2021.

STINY, George. **Introduction to shape and shape grammars.** Environment and planning B: planning and design, v. 7, n. 3, p. 343-351, 1980.

TALKS, T. Fractais -- natureza, arte e ciência | Luiz Bevilacqua | TEDxUFABC. **Youtube.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qNdLYTf6gCo>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

TED. **Art in the age of machine intelligence | Refik Anadol.** [S. l.], 19 ago. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UxQDG6WQT5s>. Acesso em: 19 fev. 2022.

TED-ED. Youtube. **A matemática inesperada de "A Noite Estrelada" de Van Gogh — Natalya St. Clair.** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PMerSm2ToFY>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

THE CODING TRAIN. **Coding Challenge #13: Reaction Diffusion Algorithm in p5.js.** [S. l.], 26 maio 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BV9ny785UNc>. Acesso em: 19 fev. 2022.

THE CODING TRAIN. **Coding Challenge #34: Diffusion-Limited Aggregation.** [S. l.], 18 ago. 2016. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=Cl\\_Gjj80gPE](https://www.youtube.com/watch?v=Cl_Gjj80gPE). Acesso em: 17 fev. 2022.

TRAUTMANN, Laura. **Product customization and generative design.** Multidisciplináris Tudományok, v. 11, n. 4, p. 87-95, 2021.

UNITY. **Unity Home Page.** Disponível em: <<https://unity.com/>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

UNITY. **Unity.** Disponível em: <<https://unity.com/pt>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

VERITASIUM. Chaos: The Science of the Butterfly Effect. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fDek6cYijxI>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

VERITASIUM. Youtube. **This equation will change how you see the world (the logistic map).** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ovJcsL7vyrk>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

VIDEO, C. Youtube. **Applied Geometry - What Are Shape Grammars?** Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=faycjymzTzY&t=1>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

VIVIDFAX. **Assign a material to an object in Blender using Python.** [S. l.], 14 jan. 2021. Disponível em: <https://vividfax.github.io/2021/01/14/blender-materials.html>. Acesso em: 19 fev. 2022.

WANNARUMON, Somlak; BOHEZ, Erik LJ; ANNANON, Kittinan. **Aesthetic evolutionary algorithm for fractal-based user-centered jewelry design.** AI EDAM, v. 22, n. 1, p. 19-39, 2008.

WIKIPÉDIA. **Diffusion-limited aggregation.** [S. l.], 3 jul. 2021. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion-limited\\_aggregation](https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion-limited_aggregation). Acesso em: 19 fev. 2022.

WIKIPEDIA. **Generative Modelling Language.** Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Generative\\_Modelling\\_Language](https://en.wikipedia.org/wiki/Generative_Modelling_Language)>. Acesso em: 8 Setembro 2021.

WIKIPEDIA. **Shapeways.** Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Shapeways>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

WIRED. **How This Artist Uses A.I. & Data to Teach Us About the World.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.wired.com/video/watch/obsessed-how-this-guy-uses-machine-learning-to-create-installations>. Acesso em: 27 jun. 2021.

WORLD ARCHITECTURE COMMUNITY. **Frank Gehry's Walt Disney Concert Hall Gets A Psychedelic Makeover By Refik Anadol.** [S. l.], 2018. Disponível em: <https://worldarchitecture.org/wa-top-teaser/hepheh/>. Acesso em: 27 jun. 2021.

YOUTUBE , 4 Dezembro 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PCzkaEhz9bI>>. Acesso em: 9 Setembro 2021.

YOUTUBE ORIGINALS. **Os ‘Arquitetos Espaciais’ de Marte | The Age of A.I.** [S. l.], 15 jan. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lIvrIKaNCRE>. Acesso em: 19 fev. 2022.

ZUIN, Gianluca et al. **Automatic Tag Recommendation for Painting Artworks Using Diachronic Descriptions.** In: 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). IEEE, 2020. p. 1-8.