

Modelação – Parte IV

1. Modificadores (ou *Modifiers*)

- O *Blender* tem um conjunto de ferramentas chamadas modificadores que simplificam algumas das tarefas de modelação. Os modificadores são operações automáticas que afetam a geometria de um objeto de forma não destrutiva. Ou seja, eles alteram a forma como um objeto é exibido e renderizado, mas não a geometria que se pode editar diretamente.
- Existem cinco grupos de modificadores:
 - **Generate**: Ferramentas construtivas/destrutivas que afetarão toda a topologia da malha. Podem alterar a aparência geral do objeto ou adicionar-lhe uma nova geometria;
 - **Edit**: Ferramentas semelhantes às anteriores, as quais, no geral, não afetam diretamente a geometria do objeto. Afetam outros dados, como grupos de vértices;
 - **Deform**: Ferramentas que mudam a forma de um objeto, sem alterar a sua topologia;
 - **Physics**: Ferramentas para criar simulações físicas.
 - **Hair**: Ferramentas para simular cabelo.
- Os modificadores que existem dentro de cada um destes grupos variam com o tipo de elemento em causa (mesh, curva, superfície, etc.). Por exemplo, os modificadores disponíveis para um objeto do tipo *mesh* são os seguintes:



Figura 1. Lista de modificadores.

- A interface de cada modificador compartilha os componentes básicos, como se exemplifica na Figura 2.

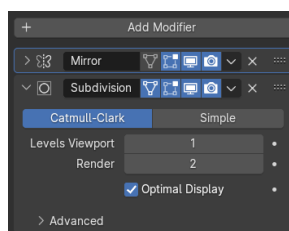



Figura 2. Exemplo da interface de um modificador.

- No topo encontra-se o cabeçalho, no qual, depois do botão de expansão do painel, do ícone que representa o tipo de modificador e do nome, surgem as seguintes opções:
 - **On Cage** (🔍) – Disponível apenas para malhas. Se habilitada, a geometria modificada pode ser editada diretamente, em vez da original. Isso pode conduzir a efeitos finais imprevisíveis e por isso o seu uso deve ser cauteloso;
 - **Edit Mode** (🔧) – Mostra o efeito do modificador no modo de edição, bem como a geometria original que se pode editar;
 - **Realtime** (🖥️) – Mostra o efeito do modificador no editor 3D Viewport;
 - **Render** (📷) – Usa o modificador na renderização;
 -  – Permite aceder a um conjunto de opções especiais (Figura 3):
 - **Apply (Teclas CTRL+A)** - Torna o modificador "real", ou seja, converte a geometria do objeto para corresponder aos resultados do modificador aplicado e exclui esse modificador da pilha;
 - **Duplicate (Teclas SHIFT+D)** - Cria um duplicado do modificador, colocando-o na pilha de modificadores, logo abaixo do atual;
 - **Copy to Selected** - Copia o modificador do objeto ativo para todos os objetos que estiverem selecionados;
 - **Move to First / Move to Last** - Move o modificador para a primeira / última posição na pilha de modificadores.

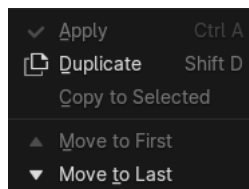





Figura 3. Painel de opções dentro do ícone .

- **Remove Modifier** (✕) – Elimina o modificador;
 -  – Move o modificador para cima / para baixo na pilha, mudando a ordem de avaliação dos modificadores.
- Pode adicionar-se vários modificadores a um único objeto, formando uma pilha de modificadores;
 - Abrir o Blender e adicionar ao cubo o modificador bevel e o Subdivision Surface;
 - A sequência em que os vários modificadores da pilha forem aplicados, influencia o resultado final obtido;
 - Trocar a ordem dos modificadores (Move to First/Move to Last do ) e ver o que o cubo altera a sua forma consideravelmente;
 - Se um modificador for removido, todas as alterações que provocou no objeto desaparecem;
 - Apagar o modificador Subdivision Surface e ver o resultado;
 - Deve aplicar-se (através da operação **Apply**) um modificador, quando se desejar que as suas alterações sejam permanentes;
 - Aplicar o modificador e ver, no modo de edição, que a alteração passou a fixa.

- Em seguida serão apresentados alguns exemplos de modificadores que são usados em tarefas de modelação. Para mais informação sobre estes e outros modificadores, aceder a:

- <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/index.html>
- <https://artisticrender.com/top-10-blender-modifiers-and-how-they-work/>

Modificador *Boolean*

- O modificador **Boolean** executa operações em malhas usando uma de três operações booleanas disponíveis - interseção, união e diferença - para criar uma única malha a partir de duas;

- Criar uma coleção, escondendo as restantes, e adicionar um cubo na origem;
- Adicionar uma *UV Sphere* de dimensão (1.5,1.5,1.5), na posição (0,0,1);
- Criar duas cópias deste conjunto de dois elementos e colocá-las umas ao lado das outras (**Teclas SHIFT + D**);
- Atribuir nomes às esferas criadas ("*Bola1*", "*Bola2*" e "*Bola3*", por exemplo);
- Para cada um dos conjuntos esfera/cubo:
 - Selecionar o cubo e no separador **Modifier Properties** (no editor *Properties*), adicionar o modificador **Boolean** (do grupo *Generate*) e no campo **Object** escolher o nome da esfera que está sobre esse cubo;
 - Selecionar uma das três operações disponíveis, respetivamente, **Intersect**, **Union** e **Difference** e fazer o **Apply** do modificador (**Teclas CTRL+A**);
- Apagar as esferas em cada conjunto e ver que o resultado é semelhante ao da Figura 4.

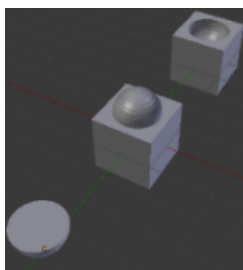


Figura 4. Resultado da aplicação do modificador *Boolean*.

Modificador *Array* e *Curve*

- O modificador **Array** cria uma matriz de cópias do objeto base e o modificador **Curve** proporciona um método simples, mas eficiente, de deformar uma malha ao longo de um objeto do tipo curva.

- Criar uma coleção, escondendo as restantes e colocar a vista de frente;
- Adicionar uma curva de *Bézier* na origem, rodada 90° sobre o eixo dos XX;
- No modo de edição, altere a curva de maneira a ficar semelhante à que se representa na figura 5.

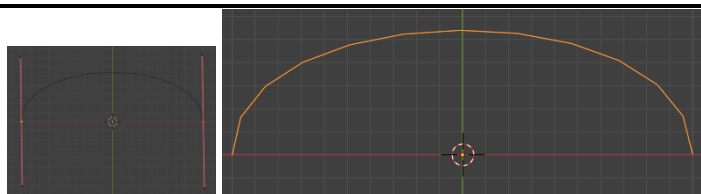


Figura 5. Forma da curva de *Bézier*.

- No separador **Object Data Properties**, painel **Geometry**, sub-painel **Bevel**, mudar o valor de **Depth** para 0.05;
- Com o objeto selecionado, adicionar o modificador **Array**, do grupo **Generate**;
- No campo **Count**, colocar o número de repetições a **19**;
- Na área **Relative Offset**, alterar a distância relativa (em “objetos”) de cada repetição em relação à anterior, no eixo dos XX, colocando o **Factor X** a **1.4**;
- No modo de edição, verificar que só é possível editar a geometria do objeto original e que essa alteração se propaga às réplicas. Se o modificador for aplicado (**Apply**), no modo objeto já será possível alterar isoladamente cada cópia;
- Experimentar alterar os valores de **Factor Y** e **Factor Z** do **Relative Offset** para ver o resultado, voltando a colocá-los a zero, no final;
- Adicionar uma curva do tipo **Circle**, de raio 9;
- Adicionar à curva de **Bézier** o modificador **Curve**, do grupo **Deform**;
- No campo **Curve Object**, colocar o nome da curva de **Bézier**;
- Verificar que as curvas de **Bézier** são colocadas segundo o perfil da curva;
- Adicionar um cilindro na origem, de raio 10 e com o valor de **Depth** a 0.4 (**Add Cylinder**) e ver que o resultado é semelhante ao da figura 6.

Modificador **Mirror**

- O modificador **Mirror** espelha uma malha de vértices ao longo de seus eixos locais X, Y e/ou Z, através da origem do objeto. Também se pode usar outro objeto como o centro do espelho e, em seguida, utilizar os eixos locais desse outro objeto em vez dos seus próprios.

- Criar uma coleção, escondendo as restantes e adicionar um cubo na origem;
- Aplicar um redimensionamento de **0.1** no eixo dos ZZ (**Teclas S + Z + 0.1 + ENTER**);
- No modo de edição, aplicar uma subdivisão com **Number of Cuts** igual a **2**;
- Adicionar ao cubo o modificador **Mirror**, do grupo **Generate**;
- Selecionar a face de um dos cantos da parte de baixo do cubo;
- Aplicar uma extrusão de uma unidade (**Teclas E + 1 + ENTER**);
- Aplicar um redimensionamento de **0.5** unidades (**Teclas S + 0.5 + ENTER**);
- No campo **Axis** do modificador, selecionar também o botão **Y** e verificar que o banco ficou com as quatro pernas;
- Selecionar todas as faces da malha (**Tecla A**) e verificar que as partes que foram acrescentadas pelo modificador não podem ser selecionadas;
- Aplicar uma translação no eixo dos YY de **-1.05**, de forma a aparecerem dois elementos ligeiramente separados (**Teclas G + Y + -1.05 + ENTER**);
- No painel do modificador, alterar para **0.1** o valor do campo **Merge**, de forma a juntar os dois objetos;
- No modo objeto e aplicar o modificador (opção **Apply**, no modificador);
- Ver que todos os vértices, arestas e faces podem ser selecionados (já é possível alterar o que foi acrescentado) e sair do modo de edição.


Modificador **Simple Deform**

- O modificador **Simple Deform** permite a aplicação de uma deformação simples a um objeto (malhas, curvas, superfícies, ...). A deformação pode ser uma rotação

(*Twist, Bend*) ou um redimensionamento (*Taper, Stretch*). A quantidade de deformação é especificada pelo parâmetro **Deform Angle** (rotação) e **Deform Factor** (redimensionamento);

- Criar uma coleção, escondendo as restantes, e adicionar um cubo na origem;
- Adicionar uma *mesh* do tipo cilindro, rodado de 90° segundo o eixo dos YY;
- Redimensionar o cilindro no eixo dos XX de forma a ficar mais comprido;
- No modo de edição, aplicar-lhe 10 cortes (operação **Edge→Subdivide**);
- Passar ao modo objeto e escolher a opção **Object→Apply→Rotation&Scale** (sem esta opção, o modificador não aplica a deformação a todo o objeto);
- No editor *Properties*, seleccionar o separador **Modifier Properties** e pressionar o botão **Add Modifier**, escolhendo o modificador **Simple Deform** (grupo *Deform*);
- Pressionar o botão **Bend** e, no campo **Axis**, seleccionar a opção **Z**;
- Alterar os valores do campo **Angle** e ver o resultado (semelhante ao da Figura 4).

Modificadores *Mask, Wireframe e Subdivision Surface*

- Criar uma coleção, escondendo as restantes, e adicionar a *Monkey* na origem;
- Passar para o modo de edição e seleccionar todas as faces da parte de trás da cabeça da macaca;
- Seleccionar o separador **Object Data Properties**, do editor *Properties*;
- No painel **Vertex Group**, premir o botão **+**, de forma a criar um grupo com todos os vértices seleccionados;
- Alterar o nome do grupo para “*Nuca da macaca*”, fazendo um duplo *click* com o botão esquerdo do rato sobre a palavra “*Group*”;
- Para atribuir os vértices seleccionados a esse grupo, premir o botão **Assign**;
- Sair para o modo objeto e no botão **Add Modifier** escolher o modificador **Mask** (remove da malha um conjunto de vértices);
- No campo **Vertex Group**, seleccionar o nome “*NucaMacaca*”;
- Verificar que a cara da macaca desapareceu;
- Pressionar o botão **Invert** , no extremo direito do campo **Vertex Group**, para alternar para os vértices que não pertencem ao grupo;
- Adicionar o modificador **Wireframe** (remove as faces do objeto e engrossa as arestas) e ver o resultado;
- Adicionar o modificador **Subdivision Surface** (acrescenta faces ao objeto de forma a suavizar a sua forma) e verificar o seu efeito;
- Troque a ordem dos modificadores na pilha e avalie as diferenças.

2. Geometry Nodes

- O sistema de **Geometry Nodes** permite alterar a geometria de um objeto, bem como fazer outras modificações, através de funções baseadas em nós (**nodes**). Estes nós, essencialmente, são blocos que contêm dados estruturados e que transformam entradas em saídas com base em parâmetros definidos no grupo de nós (árvore de nós interligados).
- O nó inicial da árvore é o **Group Input** que representa o estado inicial do objeto. O nó final é o **Group Output** que é o resultado de todas as operações definidas

pelos nós intervenientes. Existem diferentes categorias, como sejam, nós de cor, geometria, material e texto. Grande parte da curva de aprendizagem dos **Geometry Nodes** prende-se com descobrir o que os nós individuais permitem fazer e como usá-los.

- O sistema de **Geometry Nodes** é integrado no Blender como um modificador cujas operações são definidas pelo grupo de nós. Este modificador pode ser gravado e aplicado a outros objetos.
- Os exercícios que se seguem, pretendem testar a utilização de **Geometry Nodes** para efeitos de modelação. Assim, como primeiro exemplo temos o seguinte:

- Criar uma coleção, escondendo as restantes, selecionar o *workspace* **Geometry Nodes** e adicionar um mesh Cube;
- Na área de trabalho, para além do editor *3D Viewport*, surge agora o *Geometry Nodes Editor* na parte inferior e o *Spreadsheet Editor* à esquerda (este último permite explorar e ajustar dados de geometria);
- Eliminar o *Spreadsheet Editor* já que não vai ser usado neste tutorial;
- No *Geometry Nodes Editor*, adicionar um novo *Geometry Node Group* pressionando o botão **+New** do *Header*, ou, através do separador **Modifier Properties** (no editor *Properties*), selecionar a opção **Add Modifier** e escolher o modificador **Geometry Nodes** e pressionar no botão **+New** do modificador.
- Verifica-se que surgiram os nós **Group Input** e **Group Output**. Aproximando o ponteiro do rato da saída do primeiro, ou da entrada do segundo nó, é possível obter informação sobre a geometria da malha, nomeadamente, nº de vértices, arestas e faces;
- Entre os dois nós mencionados, podem ser adicionados outros nós. Neste primeiro exemplo será inserido o nó **Transform** que permite efetuar transformações básicas ao objeto, como sejam, translação, rotação e escala. Para tal:
- Aceder ao menu **Add (SHIFT+A)** do editor *Geometry Nodes* e, no sub menu **Operations**, do submenu **Geometry**, escolher o nó **Transform Geometry** (**Add→Geometry→Operations→Transform Geometry**). Alternativamente, no menu **Add**, usar a opção **Search...** e pesquisar “Transform”;
- Colocar o nó **Transform** entre os nós **Group Input** e **Group Output** e as ligações serão feitas automaticamente;
- Alterar os valores dos parâmetros desse nó e verificar os resultados (ver Figura 6).

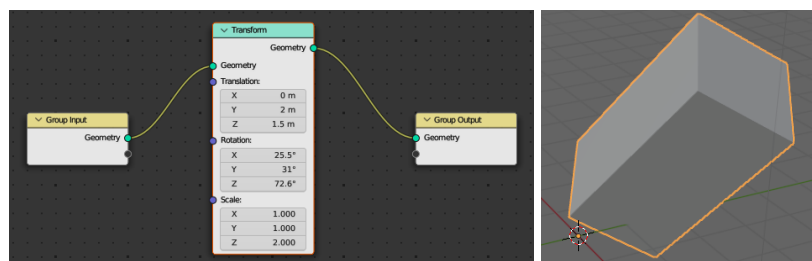


Figura 6. Modelação usando *Geometry Nodes* – Primeiro exemplo.

- No segundo exemplo, o objetivo refazer a parte das costuras feitas no exercício com os modificadores *Array* e *Curve*, recorrendo ao *Geometry Nodes*. Para esse efeito:

- Criar uma nova coleção, tornando-a ativa, e esconder as restantes;
- No *3D Viewport*, adicionar uma curva do tipo *Circle* (**Add→Curve→Circle**);
- No *Geometry Nodes Editor*, adicionar um novo *Geometry Node Group* pressionando o botão **+New** do *Header*;
- Entre os nós **Group Input** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Bezier Segment**, que adiciona uma curva de Bézier ao projeto (a partir do *Header Add→Curve→Primitives→Bezier Segment*);
- No parâmetro **End Handle** do nó, colocar o valor de **X** e o de **Y** a 0.5;
- Entre os nós **Bezier Segment** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Transform Geometry** (**Add→Geometry→Operations→Transform Geometry**) e colocar 90° no parâmetro **X** da rotação;
- Entre os nós **Transform Geometry** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Curve to Mesh** (**Add→Curve→Operations→Curve to Mesh**), para se poder atribuir espessura à curva, transformando-a em *mesh*;
- Adicionar o nó **Curve Circle** (**Add→Curve→Primitives→Curve Circle**), colocar o parâmetro **Radius** a **0.1**, e ligar a sua saída **Curve** à entrada **Profile Curve** do nó **Curve to Mesh**;
- O que foi executado até aqui e o resultado que se pretende é apresentado na Figura 7.



Figura 7. Parte da modelação executada do segundo exemplo.

- Ligar novamente a saída **Geometry** do nó **Group Input** à entrada **Geometry** do nó **Group Output**;
- Entre os nós **Group Input** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Curve To Points**, que gera nuvens de pontos usando posições ao longo da curva (a partir do *Header Add→Curve→Operations→Curve To Points*);
- Entre os nós **Curve To Points** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Instances On Points**, que gera referências para a geometria em cada um dos pontos sem duplicar os dados existentes (a partir do *Header Add→Instances→Instances On Points*);
- Ligar a saída **Mesh** do nó **Curve To Mesh** à entrada **Instance** do nó **Instances On Points**;
- Ligar a saída **Rotation** do nó **Curve To Points** à entrada **Rotation** do nó **Instances On Points**;
- No nó **Transform Geometry** colocar o valor de 180° no parâmetro **X** e de 90° no parâmetro **Y** da rotação;
- Colocar 19 no parâmetro **Count** do nó **Curve To Points**;
- O grupo de nós completo e o resultado encontra-se na Figura 8.

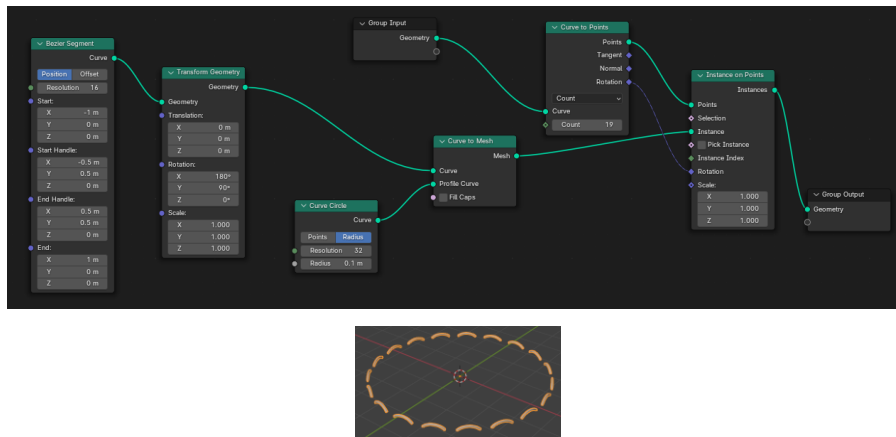


Figura 8. Modelação usando *Geometry Nodes* – Segundo exemplo.

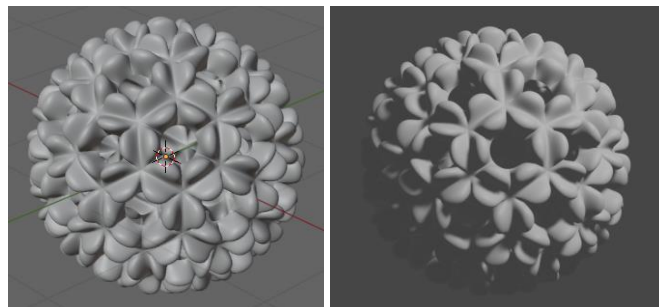


Figura 9. Objeto a modelar no terceiro exemplo (objeto no 3D Viewport/renderizado).

- No terceiro exemplo, o objetivo é modelar o objeto da Figura 9, recorrendo a outros tipos de nós do *Geometry Nodes*. Para esse efeito:

- Criar uma nova coleção, tornando-a ativa, e esconder as restantes;
- No *3D Viewport*, adicionar uma *mesh* do tipo *Ico Sphere* (**Add→Mesh→Ico Sphere**);
- No *Geometry Nodes Editor*, adicionar um novo *Geometry Node Group* pressionando o botão **+New** do *Header*;
- Entre os nós **Group Input** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Dual Mesh**, que converte faces em vértices e vértices em faces (a partir do *Header Add→Mesh→Operations→Dual Mesh*). Pode comprovar-se este efeito, colocando o ponteiro do rato à entrada e à saída desse nó. O resultado é o da Figura 10.

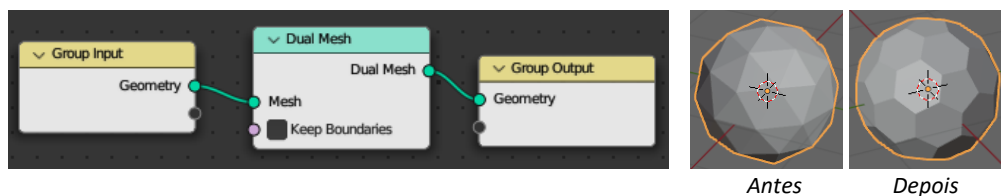


Figura 10. Efeito do nó *Dual Mesh*.

- Adicionar um nó do tipo **Extrude Mesh** que faz uma extrusão aos elementos seleccionados (gerando novos vértices, arestas e faces) com base num dado *offset* (**Add→Mesh→Operations→Extrude Mesh**, a partir do *Header*), colocando-o entre os nós **Dual Mesh** e **Group Output**;
- Alterar o parâmetro **Offset Scale** e verificar o efeito produzido na malha. No final, colocar o seu valor a **0.05** (ver Figura 11);

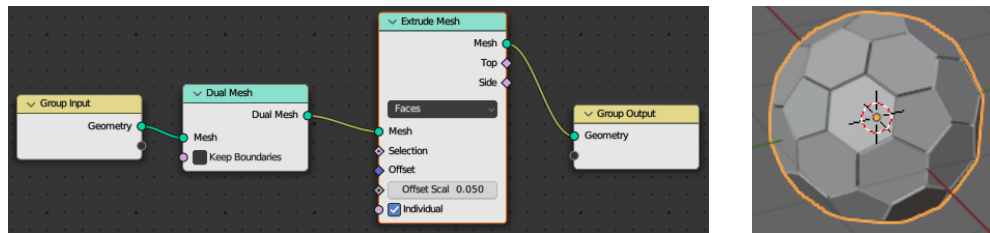


Figura 11. Efeito do nó *Extrude Mesh*.

- Ver que os números de vértices, arestas e faces foram substancialmente incrementados, pondo o ponteiro do rato sobre os nós de entrada (**Group Input**) e de saída (**Group Output**);
- Entre os nós **Extrude Mesh** e **Group Output** inserir um nó do tipo **Scale Elements**, que aplica uma operação de escala a grupos de arestas e faces selecionados (a partir do *Header*, **Add→Mesh→Operations→Scale Elements**);
- Neste exemplo, apenas existe interesse em redimensionar as faces do topo. Por esse motivo, além das ligações que o *Blender* estabeleceu automaticamente, ligar a saída **Top** do nó **Extrude Mesh**, à entrada **Selection** do nó **Scale Elements**. Colocar o parâmetro **Scale** do segundo nó com valor **0.5**. O resultado pode ver-se na Figura 12.

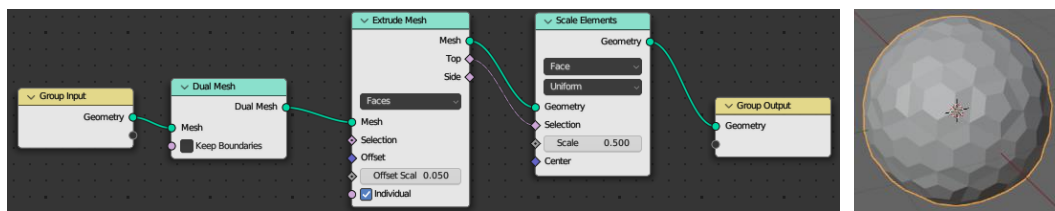


Figura 12. Efeito do nó *Scale Elements*.

- Entre os nós **Scale Elements** e **Group Output** inserir um nó do tipo **Delete Geometry** que apaga os elementos da malha selecionados (a partir do *Header*, **Add→Geometry→Operations→Delete Geometry**). Como resultado da inserção deste nó, verificar que toda a malha foi removida;
- Como o objetivo é que apenas as faces do topo sejam eliminadas, alterar o parâmetro **Point** deste novo nó para **Face**, bem como ligar a saída **Top** do nó **Extrude Mesh**, à entrada **Selection** deste mesmo nó (ver Figura 13).

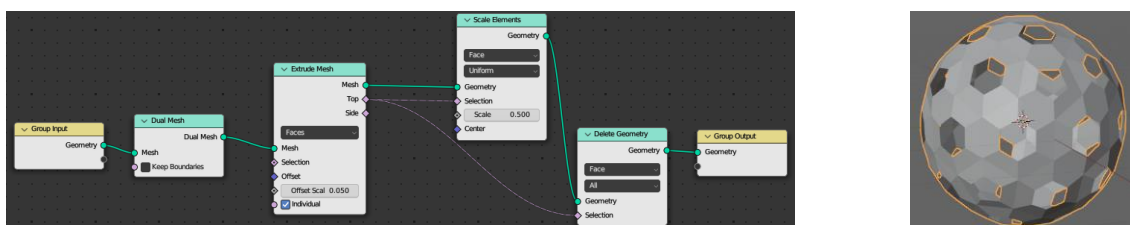


Figura 13. Efeito do nó *Delete Geometry*.

- Adicionar um segundo nó do tipo **Extrude Mesh** (a partir do *Header*, **Add→Mesh→Operations→Extrude Mesh**), colocando-o entre os nós **Delete Geometry** e **Group Output**, e alterar o parâmetro **Offset Scale** para **0.2** (ver Figura 14).

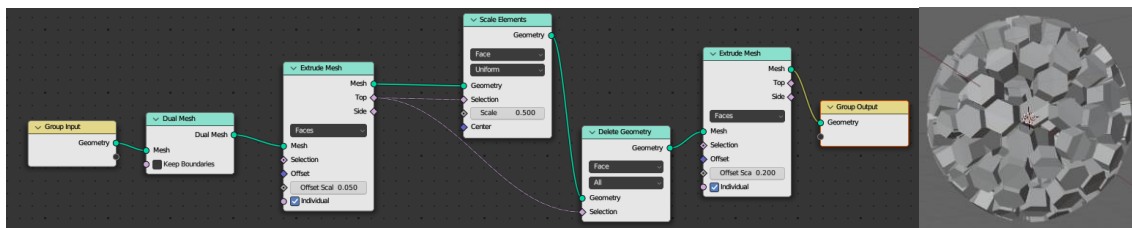


Figura 14. Efeito do segundo nó *Extrude Mesh*.

- Finalmente, entre o segundo nó **Extrude Mesh** e o nó **Group Output** inserir um nó do tipo **Subdivision Surface** que usa um método de subdivisão da malha para tornar a sua superfície mais suave (a partir do *Header, Add→Mesh→Operations→Subdivision Surface*);
- Colocar o valor do parâmetro **Level** igual a 4, obtém-se o resultado da Figura 9. O grupo de nós completo encontra-se na Figura 15.

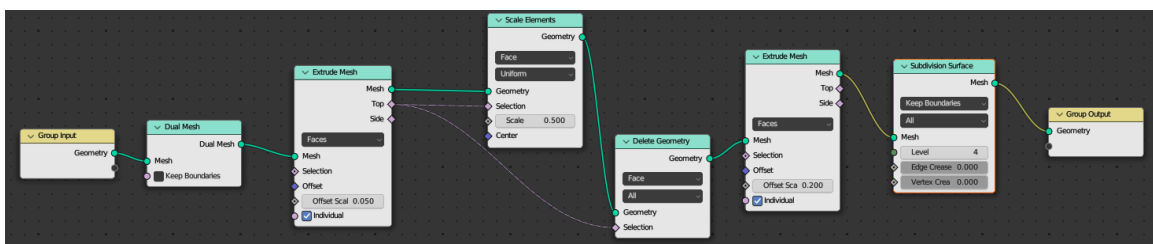


Figura 15. Modelação usando *Geometry Nodes* – Exemplo 2.

3. Exercícios propostos

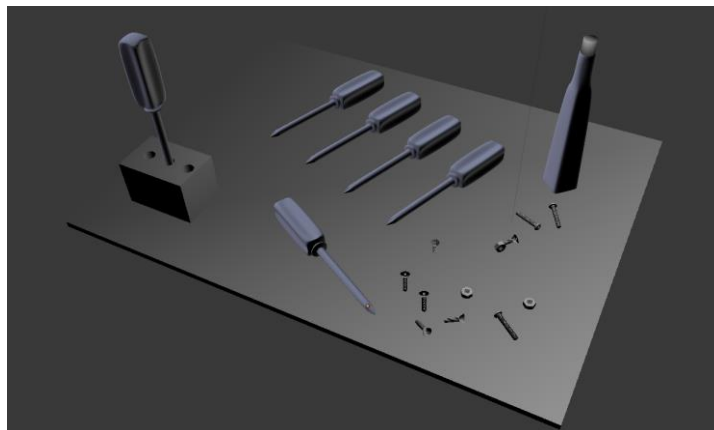
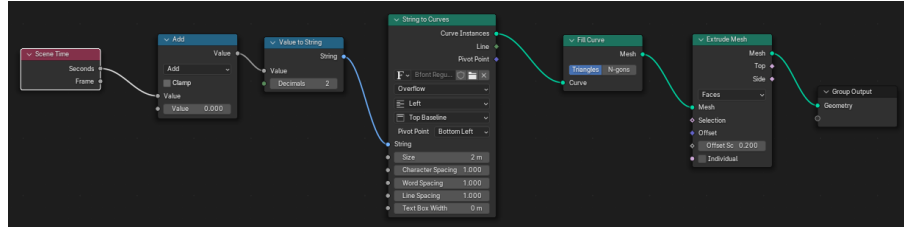


Figura 16. Cena 3D a modelar.

1. Modelar a cena 3D que se apresenta na Figura 16, sabendo que:
 - A bancada é um cubo redimensionado;
 - A chave de estrela é o resultado do exercício 3 proposto no guião anterior (*FCG_02_Modelação_C.pdf*), sendo posteriormente replicada. Para se obter as quatro chaves seguidas (ver Figura 16) deverá ser usado o modificador **Array**;
 - O suporte de chaves começa por ser um cubo. São-lhe “escavados” alguns cilindros usando o modificador **Boolean**;
 - A garrafa é modelada usando a mesma técnica da criação da chave de estrela;

- A rolha da garrafa é um cilindro;
- Os parafusos e porcas são criados usando o *add-on Bolt Factory* da categoria *Add Mesh*.

2. Modelar um contador de tempo (em segundos) para mostrar a duração da animação que o projeto tem, fazendo o que é apresentado na figura seguinte:



3. Modelar uma planta (caule e folhas) através do uso de Geometry Nodes, efetuando os passos que se seguem:

- Abrir o Blender e alterar o *workspace* para *Geometry Nodes*;
- Adicionar um modificador do tipo *Geometry Nodes* ao cubo, através do editor *Properties*, separador *Modifier Properties*, opção **Add Modifier** pressionar a opção **+New**;
- Adicionar um *node* do tipo **Quadratic Bezier**, através do menu **Add (SHIFT+A)→Curve→Primitives→Quadratic Bezier**, entre o nós **Group input** e **Group Output** e atribuir, respetivamente, os valores (0, 0, 0), (0, 0, 0.5) e (0, 0, 1) aos campos **Start**, **Middle** e **End**, do nó **Quadratic Bezier**;
- Entre os nós **Quadratic Bezier** e **Group Output**, inserir um nó do tipo **Curve to Mesh** (**Add→Curve→Operations→Curve to Mesh**), para se poder atribuir espessura à curva, transformando-a em *mesh*.
- Para criar o caule da planta é necessário que este tenha uma forma circular. Para tal:

- Adicionar um novo nó do tipo **Curve Circle**, através de **SHIFT+A→Curve→Primitives→Curve Circle** e ligar a saída **Curve** do nó **Curve Circle**, à entrada **Profile Curve** do nó **Curve to Mesh**;
- Alterar os valores de **Resolution** e **Radius** do nó **Curve Circle** para **12** e **0.02m**. Ver o resultado esperado a partir da Figura 17.

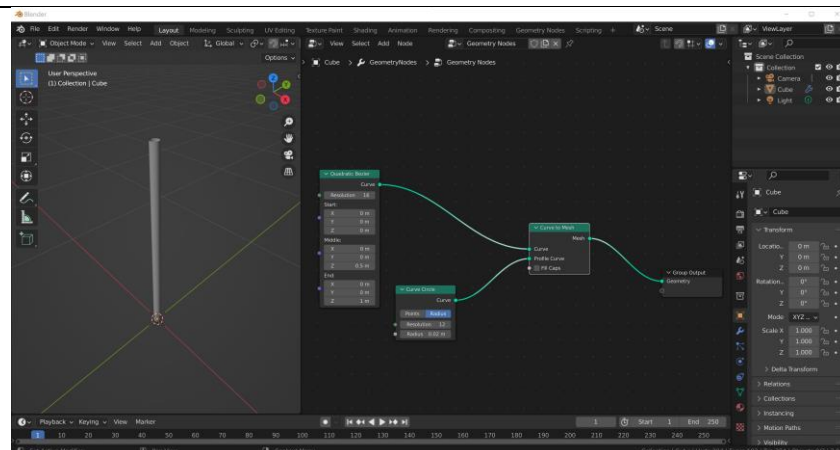


Figura 17. Geometry Nodes – etapa 1.

- De forma a simular as irregularidades de uma planta, adicionar um nó do tipo **Noise Texture (SHIFT+A→Texture→Noise Texture)**;

- Para além deste, adicionar outros nós que serão necessários para manipular corretamente a posição, nomeadamente:

- **SHIFT+A→Utilities→Vector→Vector Math** (executa a operação matemática selecionada sobre os valores de entrada. Escolher operação **Subtract** para subtrair esses valores);
- **SHIFT+A→Curve→Read→Spline Parameter** (gera a distância de um ponto ao longo de uma curva, como um valor entre 0 e 1);
- **SHIFT+A→Utilities→Vector→Vector Math** (executa a operação matemática selecionada sobre os valores de entrada. Escolher operação **Multiply** para multiplicar esses valores);
- **SHIFT+A→Geometry→Write→Set Position** (controla a localização de cada ponto);
- Proceder às ligações das entradas/saídas dos nós, bem como às alterações de parâmetros, de acordo com a Figura 18.

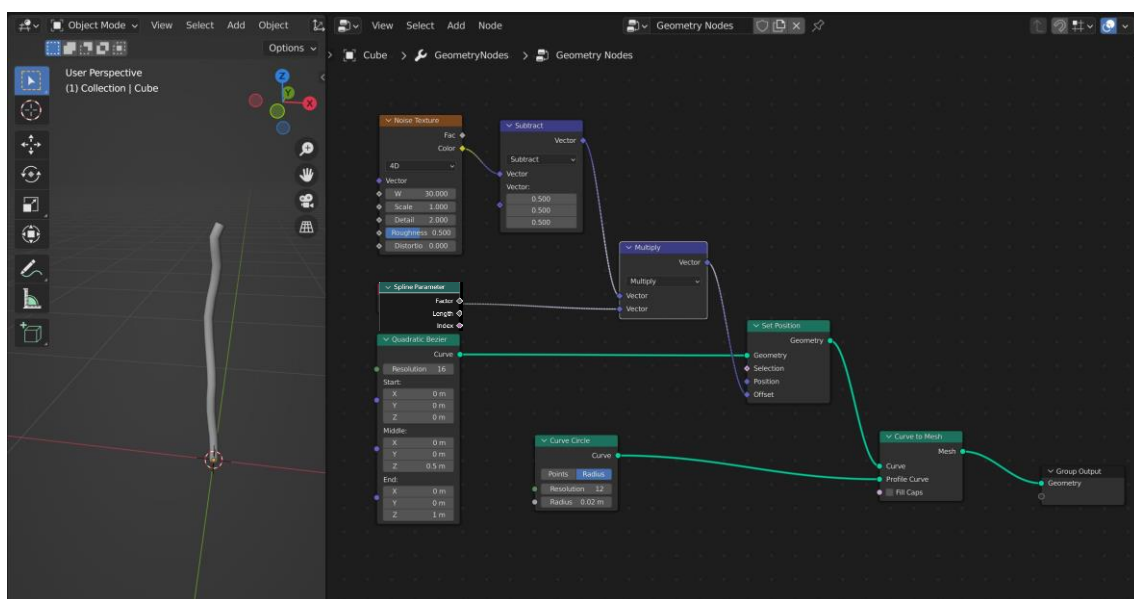


Figura 18. Geometry Nodes – etapa 2.

- Para adicionar irregularidade ao raio da curva, adicionar o nó **Set Curve Radius (SHIFT+A→Curve→Write→Set Curve Radius)** e inseri-lo entre os nós **Curve to Mesh** e **Set Position**;
- Em seguida, criar uma ligação entre o nó **Spline Parameter** e o novo nó **Set Curve Radius** através do parâmetro **Radius**. No entanto, com esta configuração, o caule da planta fica com um aspeto exatamente oposto ao que devia ter, uma vez que o valor de saída do nó **Spline Parameter** é 0 no ponto de origem e 1 no topo da curva;
- Para resolver esta questão, adicionar o nó **Map Range (SHIFT+A→Utilities→Math→Map Range)**, o qual permite inverter os valores referidos:

- Ligar a saída **Factor** do nó **Spline Parameter** à entrada **Value** do nó **MapRange**, e a saída **Result** deste último, à entrada **Radius** do nó **Set Curve Radius**;
 - Alterar o **From Min** para **1.000** e **From Max** para **0.000**.
- Com o caule pronto, passa-se a adicionar folhas à planta. Para essa finalidade:
 - Através da opção **File→Append** aceder ao ficheiro “folha.blend”;
 - Na pasta **Mesh** seleccionar o objeto **Plane** e carregar em **Append**;
 - No **Outliner**, alterar o nome deste novo objeto para “Folha”;
 - Com o caule selecionado, arrastar o objeto “Folha” do **Outliner** para o **Geometry Nodes Editor** e ver que foi criado um novo nó, do tipo **Object Info**, com informação da “Folha”.
- As instâncias são uma forma rápida de adicionar a mesma geometria a uma cena muitas vezes, sem duplicar os dados subjacentes. No caso da planta, a folha será adicionada um determinado número repetido de vezes.
 - Adicionar um novo nó do tipo **Instance on Points (Add→Instances→Instance on Points)**;
 - Ligar a saída **Geometry** do nó **Object Info**, à entrada **Instance** do nó **Instance on Points**;
 - Para controlar o número de folhas, criar um novo nó do tipo **Resample Curve (Add→Curve→Operations→Resample Curve)**;
 - Ligar a saída **Curve** do nó **Set Curve Radius** à entrada **Curve** do nó **Resample Curve**, e a saída **Curve** deste último, à entrada **Points** do nó **Instance on Points**;
 - De forma a ser possível ligar a saída do nó **Instance on Points** ao **Group Output**, adicionar o nó **Join Geometry (Add→Geometry→Join Geometry)**;
 - Ligar as saídas **Instance** e **Mesh** dos nós **Instance Points** e **Curve to Mesh** a **Mesh**, respetivamente, à entrada **Geometry** do nó **Join Geometry**;
 - Verificar se ligações estão conforme a Figura 19.

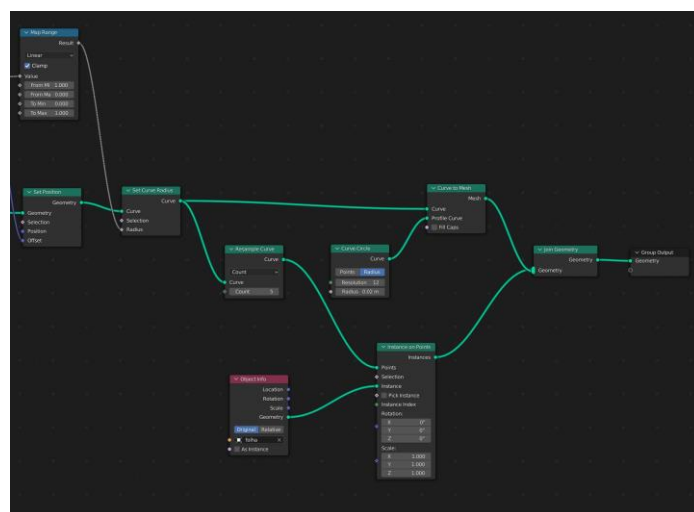


Figura 19. Geometry Nodes – etapa 3.

- No editor *3D Viewport* é possível verificar que as folhas estão na vertical, pelo que é necessário aplicar-lhe uma rotação. A alteração dos valores de rotação diretamente no nó *Instance on Points*, não produz o resultado pretendido (como facilmente poderá constatar). Com efeito, torna-se necessário alinhar o objeto com algo. Para resolver o problema:

- Adicionar um nó do tipo **Align Euler to Vector** (**Add→Utilities→Rotation→Align Euler to Vector**) entre os nós **Object Info** e **Instance on Points**;
- Ligar a saída **Rotation** do nó **Object Info** à entrada **Rotation** do nó **Align Euler to Vector** e a saída **Rotation** deste último, à entrada **Rotation** do nó **Instance on Points**;
- No nó **Align Euler to Vector**, selecionar o eixo Y e manter os valores de **Vector** com (0,0,1).

- Para que as folhas sigam a irregularidade do caule:

- Adicionar um nó **Curve Tangent** (**Add→Curve→Read→Curve Tangent**);
- Ligar a saída **Tangent** (do nó **Curve Tangent**) à entrada **Vector** (do nó **Align Euler to Vector**);
- Criar um nó do tipo **Rotate Instances** (**Add→Instances→Rotate Instances**) para adicionar rotação às folhas, posicionando-o entre os nós **Instance on Points** e **Join Geometry**. Desta forma, as ligações das entradas/saídas, será feita automaticamente.

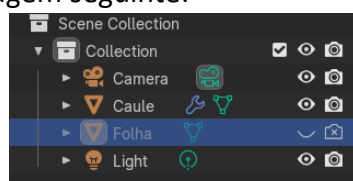
- O nó **Rotate Instances** vai controlar a rotação de todas as folhas, o que torna impossível criar o efeito irregular desejado. Para o obter:

- Adicionar um nó do tipo **Index** (**Add→Geometry→Read→Index**) que atribui um novo valor a cada ponto e, para conseguir obter um resultado mais controlado, ligar a sua saída ao eixo Y de um nó do tipo **Combine XYZ** (**Add→Utilities→Vector→Combine XYZ**). Por sua vez, ligar a saída deste nó à entrada **Rotation** do nó **Rotate Instances**.

- Modificar os valores dos parâmetros de alguns dos nós, nomeadamente:

- Colocar o parâmetro **Count** do nó **Resample Curve** com valor **10** (equivalente a adicionar 10 folhas);
- Alterar os valores do parâmetro **Scale** do node **Instance on Points** para (0.400; -2.000; 0.500);
- Alterar o valor do parâmetro X do nó **Combine XYZ** para **-3.000**;

- No *Outliner*, esconder o objeto “Folha” do editor 3D Viewport e da renderização, conforme se verifica na imagem seguinte:



- O resultado final deverá ser semelhante ao da Figura 20.

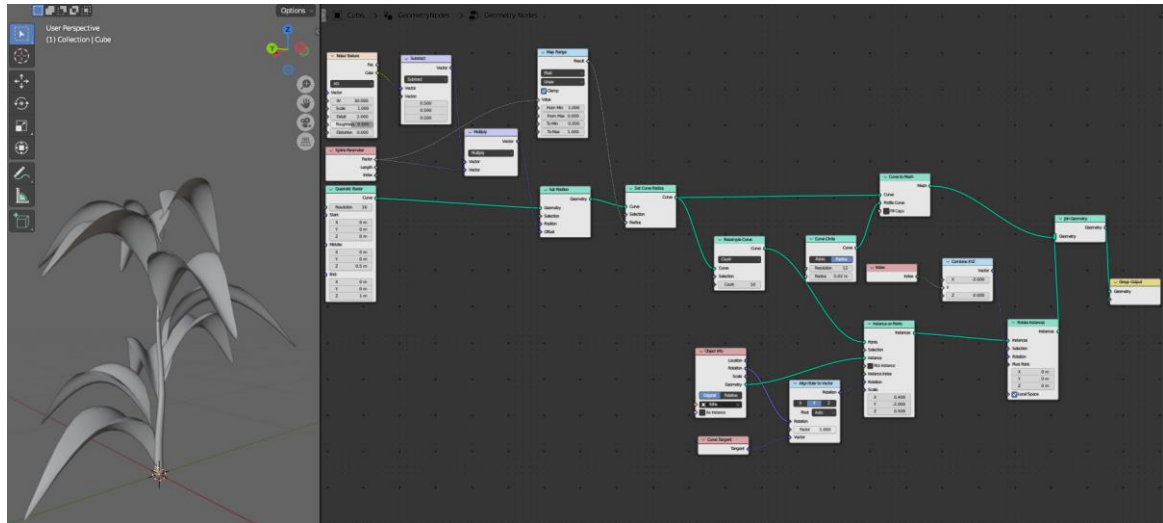


Figura 20. *Geometry Nodes* - Resultado final.