

20241387



Diana Bagaeva

TRABALHO *III*

O presente trabalho insere-se no âmbito da unidade curricular de Modelação Geométrica e Generativa (MGG) e tem como objectivo o estudo, a modelação e a estruturação geométrica de conchas de moluscos gastrópodes, explorando as suas propriedades morfológicas, espaciais e paramétricas.

Tomando como ponto de partida os princípios de geração de superfícies através de duas directrizes e uma geratriz, o projecto investiga a aplicação de leis de crescimento natural, tais como as espirais logarítmicas, a homotetia e a sequência de Fibonacci, em ambiente digital.

wwwww

Para o desenvolvimento e parametrização destas formas orgânicas complexas, foi utilizada a ferramenta de programação visual Grasshopper, integrada no software Rhino, permitindo a definição algorítmica das superfícies e o controlo paramétrico da sua geometria.

Foram seleccionados os seguintes exemplares para estudo e desenvolvimento:

- Spirula — espiral plana baseada na sequência de Fibonacci;

wwwww

Planorbis — espiral plana desenvolvida por tangência à forma existente;

Nautilus, — espiral plana com projecção da directriz num cone de revolução;

Caracol - espiral cónica desenvolvida por tangência ao eixo vertical;

Caramujo do Mar — espiral cónica baseada numa superfície de geratriz curva.

A apresentação final do modelo é composta por uma folha A3, incluindo uma vista em perspectiva e três vistas ortogonais — planta, alçado frontal e alçado lateral — extraídas directamente do ambiente de modelação, acompanhadas das respectivas legendas, escalas e indicações gráficas.

Todas as imagens apresentadas possuem uma resolução igual ou superior a 300 ppp, garantindo uma leitura clara e uma análise detalhada das superfícies modeladas.



1. Geometria de Base e Sequência de Fibonacci A construção do modelo inicia-se no plano xy através de uma malha de quadrados justapostos, cujos lados seguem a progressão numérica de 1,1,2,3,5,8 e 13.

Exemplo: Na concha Spirula, esta grelha quadrática serve de guia para desenhar os arcos de circunferência de $\pi/2$ que compõem a espiral da diretriz exterior.

2. Leis de Crescimento e Homotetia O desenvolvimento desta concha obedece a regras geométricas de crescimento que configuram uma Homotetia, permitindo que a forma aumente sem alterar as suas proporções iniciais.

Exemplo: Esta lei permite a alteração da curvatura e o aumento

progressivo do raio em cada ponto, gerando o espaço necessário para a abertura da concha à medida que o molusco cresce.

3. Definição de Diretrizes (Rails) A superfície da concha é sustentada por duas linhas mestras, ou diretrizes, que orientam o percurso da forma no espaço.

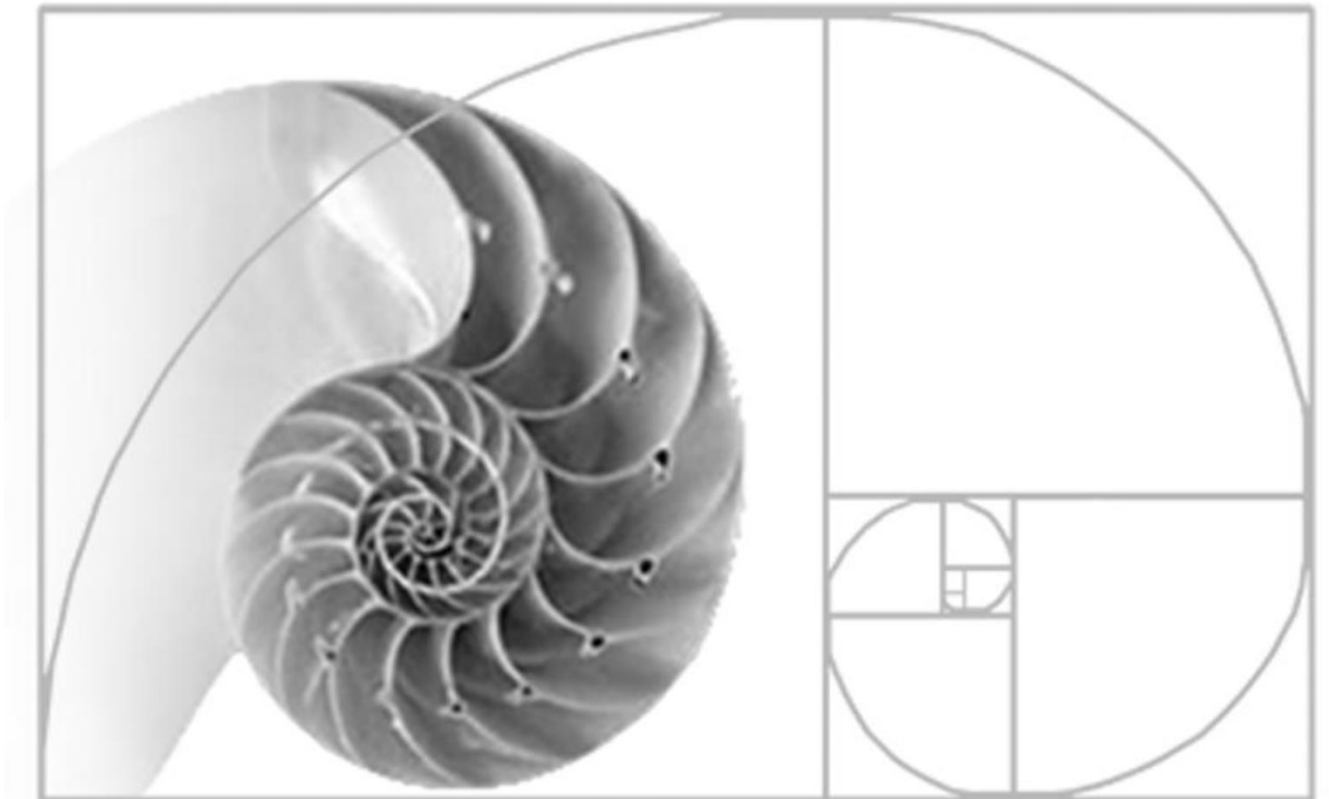
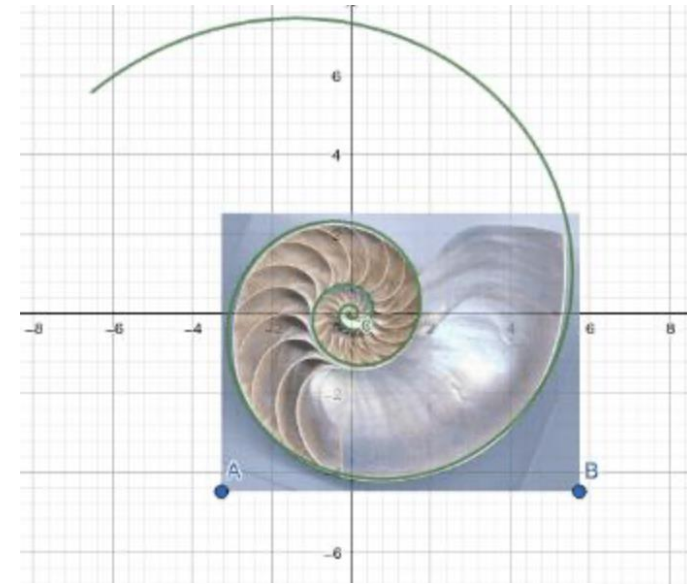
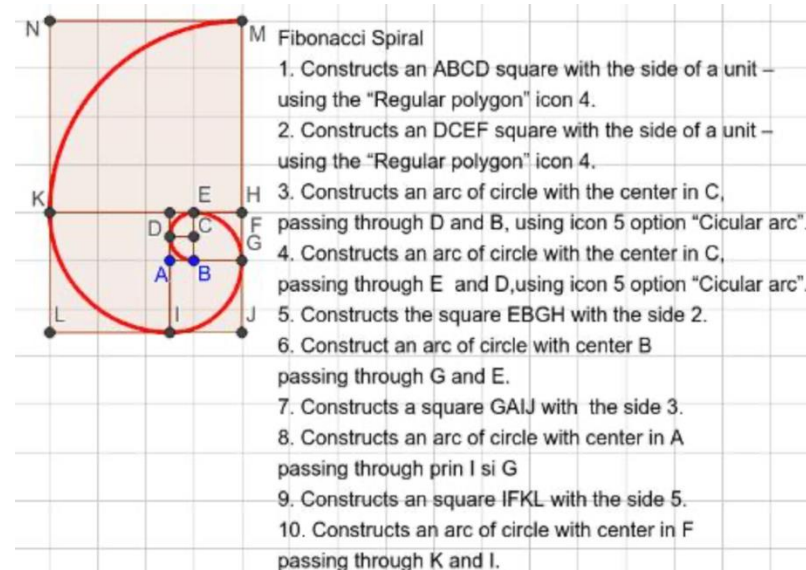
Exemplo: A 1ª diretriz é formada pela junção dos arcos baseados em Fibonacci. A 2ª diretriz (interior) é obtida através do escalamento da primeira para uma proporção de 1/2 ou 2/3, garantindo que as espirais nunca se toquem.

4. Geratriz e Geração de Superfície (Sweep2) A volumetria é criada pelo deslocamento de uma secção transversal, a geratriz, que se molda ao longo das diretrizes definidas.

Exemplo: Utiliza-se uma circunferência vertical como geratriz (Shape), cujo diâmetro é definido entre os pontos exteriores das duas espirais. A superfície final é gerada através da operação Sweep2, que funde estes elementos numa forma contínua.

5. Modelação Paramétrica em Grasshopper A complexidade das formas orgânicas é abordada através de processos algorítmicos que permitem o controlo rigoroso da geometria gerada.

- Exemplo: No âmbito deste trabalho, recorreu-se ao Grasshopper para determinar e parametrizar a superfície da Spirula, traduzindo as regras de crescimento natural em lógica de programação visual para a obtenção do modelo final.



1. SPIRULA

A concha da Spirula é uma superfície helicoidal de varrimento, resultante do deslocamento progressivo de uma geratriz circular ao longo de duas directrizes espirais planas associadas à sequência de Fibonacci.

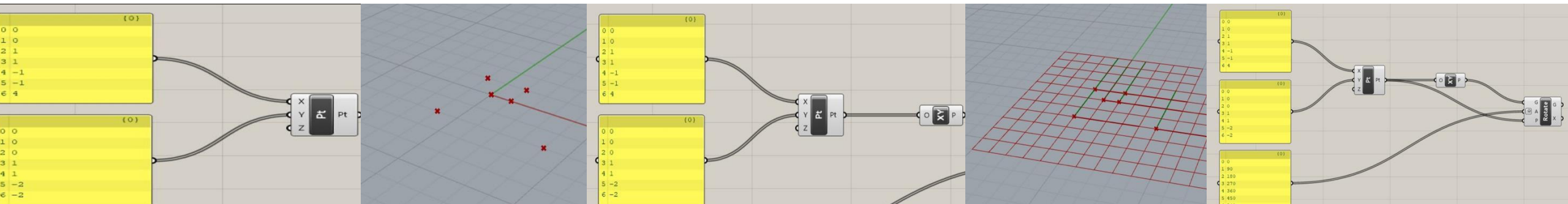
A sua geometria desenvolve-se segundo princípios de homotetia e crescimento natural, permitindo a formação de uma superfície contínua, fluida e orgânica. Este elemento bio-inspirado é frequentemente explorado na arquitectura biomimética e na modelação paramétrica generativa, evidenciando a relação entre proporção matemática, dinâmica espacial e transformação morfológica da forma tridimensional.



MÉTODO 1

Guia de Modelação SPIRULA:

Fase 1: Geometria de directriz1 (ESPIRAL DE FIBONACCI)



1.1. A fase inicial consistiu na definição algoritmica dos eixos de rotação da espiral de Fibonacci, Para o efeito, introduziram-se duas matrizes numéricas através de componentes Panel (com Multiline Data desativado), correspondentes às coordenadas dos eixos X (0,0,1,1,-1,-1,4) e y {0,0,0,1,1,-2,-2}.

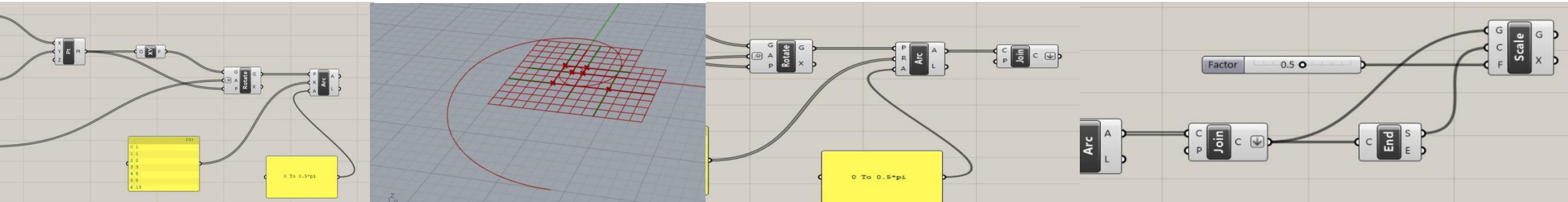
Estas listas de dados foram conectadas às entradas X e Y do componente Construct Point (Pt). o processamento linear e paralelo deste nó resultou na geração automática de 7 pontos no plano coordenado, estabelecendo os centros geométricos exatos e indispensáveis para a posterior modelação dos arcos adjacentes.

1.2. Definição dos Planos de Trabalho (XY Plane) A saída do componente Construct Point (Pt) é conectada à entrada O (Origin) do componente XY Plane. Visto que um ponto representa apenas uma coordenada abstrata no espaço, este nó utiliza cada ponto de ancoragem para gerar uma superfície de trabalho plana e horizontal (plano XY local). O objetivo deste passo é criar o "fundamento" ou base planar para cada um dos sete arcos, fornecendo a referência geométrica necessária para as operações subsequentes.

1.3. Rotação Progressiva dos Planos (Rotate) Para que a espiral de Fibonacci se desenvolva de forma contínua, cada arco subsequente deve ser rotacionado em 90° relativamente ao anterior. O componente Rotate é utilizado para aplicar esta transformação diretamente aos planos horizontais gerados (entrada G), e não aos pontos isolados. Os pontos originais de ancoragem são conectados à entrada P (Plane) para servirem como o centro local de rotação, garantindo a orientação espacial correta de cada quadrante da espiral.

Guia de Modelação SPIRULA:

Fase 1: Geometria de directriz1 (ESPIRAL DE FIBONACCI)



1.4. Modelação dos Segmentos de Arco (Arc)

Neste algoritmo, o componente Arc é responsável por gerar 7 segmentos independentes que, após a sua junção, constituem a curva diretriz da espiral de Fibonacci. A configuração das suas entradas

estrutura-se da seguinte forma:

Entrada P (Plane): Recebe os planos gerados pelo nó Rotate, definindo não apenas o ponto central de cada arco, mas também a sua orientação espacial inicial.

Entrada R (Radius): É alimentada por uma lista com a sequência de Fibonacci {1, 1, 2, 3, 5, 8, 13}, ditando o aumento progressivo e estrito do raio de cada tramo subsequente.

Entrada A (Angle): Determina a extensão angular do arco. Para que a espiral se desenvolva corretamente, cada segmento deve corresponder a um quarto de circunferência exato (90°), o que é definido através do domínio numérico "0 To 0.5*pi".

1.5. Unificação da Diretriz Exterior (Join Curves)

O componente Join Curves (Join) recebe na sua entrada os

7 segmentos de arco independentes gerados pelo nó Arc. O objetivo deste passo é fundir as extremidades adjacentes dos arcos adjacentes para transformá-los numa única curva contínua e fluida. Esta unificação elimina a fragmentação da geometria, gerando a Directriz Exterior (Directriz 1), que servirá como a primeira calha de orientação essencial para o varrimento tridimensional.

2.1. Redução Homotética da Espiral (End Points & Scale)

Nesta fase, Introduzem-se os componentes End Points (End) e Scale com o objetivo de gerar a geometria interna da concha: Componente End Points: É conectado à Directriz Exterior (proveniente do nó Join Curves) para extrair de forma automática o ponto inicial (S) da trajetória da espiral.

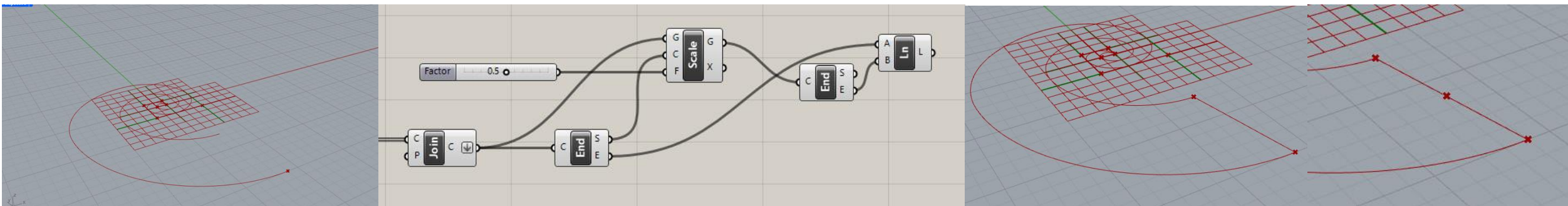
Componente Scale: Recebe a curva original na entrada G (Geometry) e o ponto obtido na entrada C (Center), estabelecendo-o como o centro fixo e invariante para a transformação geométrica.

Fator de Escala (F): É configurado com o valor de 0.5 para realizar a redução proporcional concentrica.

O objetivo deste procedimento é gerar a Directriz Interior, uma curva identitária à primeira, mas reduzida para metade do seu tamanho original (duas vezes menor), definindo assim a espessura interna da parede da concha indispensável para o varrimento tridimensional.

Guia de Modelação SPIRULA:

Fase 2:



3.1. Definição do Diâmetro de Abertura (End Points & Line)

Adiciona-se um segundo componente End Points (End) para localizar o ponto terminal da nova curva reduzida (diretriz interior). De seguida, utiliza-se o componente Line (Ln) para criar um segmento de reta que conecta as extremidades finais de ambas as espirais.

As saídas E (End) de ambos os nós End Points são conectadas respetivamente às entradas A e B do nó Line. O objetivo deste passo é fechar o extremo da concha, materializando uma linha estrutural que define o diâmetro exato da abertura terminal para a posterior modelação do perfil.

3.2. Determinação do Centro e Magnitude da Abertura (Distance & Curve Middle)

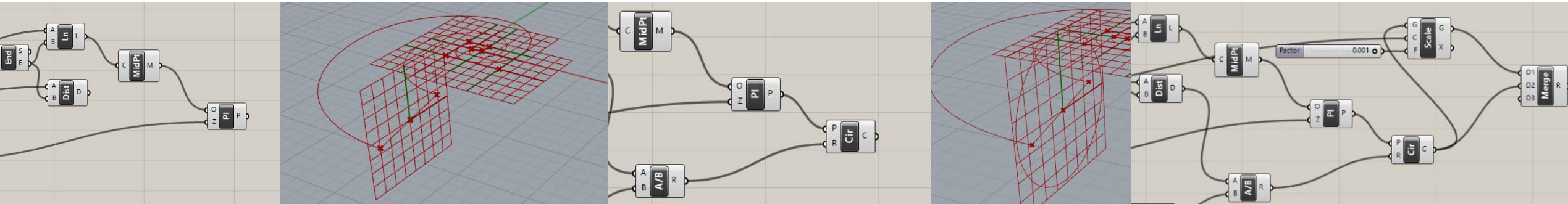
Neste passo, adicionam-se os componentes Distance (Dist) e Curve Middle (MidPt) para extrair as referências métricas e espaciais do extremo da concha.

Componente Curve Middle: É conectado à saída L do nó Line (Ln) para determinar o ponto médio exato deste segmento de reta. O objetivo é fixar o centro geométrico onde será posicionado o círculo do perfil (geratriz).

Componente Distance: Recebe nas suas entradas A e B os pontos terminais de ambas as diretrizes para calcular a distância linear entre eles. Esta métrica quantifica o diâmetro total da abertura, que servirá de base para o posterior dimensionamento do raio.

Guia de Modelação SPIRULA:

Fase 3:



3.3. Orientação Tridimensional do Plano de Secção (Evaluate Curve & Plane Normal)

Adicionam-se os componentes Evaluate Curve (Eval) e Plane Normal (Pl) com o objetivo de orientar espacialmente a abertura da concha:

Componente Evaluate Curve: Analisa a Diretriz Exterior (entrada C) no seu extremo terminal através do parâmetro 1.0 (entrada t), estando o nó reparametrizado. A saída T (Tangent) fornece o vetor de direção local da curva nesse ponto. Componente Plane Normal: Recebe na entrada O (Origin) o ponto central anteriormente calculado (vindo do Curve Middle) e na entrada Z (Normal) o vetor tangente obtido. O objetivo deste passo é gerar um plano de trabalho que se posicione de forma estritamente perpendicular e vertical em relação à trajetória das diretrizes, evitando que o perfil da concha fique deitado (horizontal) ou distorcido.

3.4. Modelação da Geratriz Circular (Division & Circle)

Para concluir a definição geométrica do perfil de abertura da concha, adicionam-se os componentes Division (A/B) e Circle (Cir):

Componente Division: Recebe na entrada A a magnitude linear proveniente do nó Distance (Dist), enquanto a entrada B é definida com o valor constante 2 através de um painel. Esta operação matemática divide o diâmetro total por dois, calculando o raio exato para a secção.

Componente Circle: O raio obtido na saída do nó de divisão é conectado à entrada R (Radius), e o plano perpendicular gerado anteriormente é introduzido na entrada P (Plane), servindo de base para o desenho da geometria.

O objetivo deste passo é modelar a Geratriz (circunferência da secção) com a dimensão proporcional exata para preencher o vão entre as duas diretrizes espirais no plano vertical da abertura.

3.5. Redução Homotética do Perfil para o Ápice (Scale)

Para garantir a viabilidade topológica do modelo tridimensional nas fases seguintes, adiciona-se um segundo componente Scale, configurado através das seguintes conexões:

Entrada G (Geometry): É conectada à saída C do componente Circle (Cir), importando a geratriz circular principal previamente modelada.

Entrada C (Center): Liga-se à saída S (Start) do primeiro componente End Points, estabelecendo a origem absoluta da espiral como o centro da transformação.

Entrada F (Factor): É associada a um Number Slider parametrizado com o valor infinitesimal de 0.001.

Justificação Geométrica: O objetivo deste procedimento é reduzir a geratriz original em 1000 vezes, gerando uma micro-circunferência posicionada exatamente no ponto inicial da concha. Ao substituir um ponto singular (vértice zero) por esta secção microscópica, o algoritmo previne erros de convergência geométrica e eviscera relações topológicas durante o futuro varrimento, assegurando que a transição volumétrica da concha da Spirula comece de forma limpa, controlada e matematicamente estável a partir da sua origem.

Guia de Modelação SPIRULA:

Fase 4: FINAL

FASE 4: GERAÇÃO DA SUPERFÍCIE TRIDIMENSIONAL

4.1. Varrimento por Duas Calhas (Merge & Sweep2)

Para a consolidação volumétrica e formal da concha da Spirula, o algoritmo conclui-se com a articulação dos componentes Merge e Sweep 2 Rails (Swp2):

Componente Merge: Responsável por ordenar sequencialmente os perfis de secção. A micro-circunferência (saída G do segundo nó Scale) é conectada à entrada D1, enquanto a geratriz circular principal (saída C do nó Circle) é ligada à entrada D2.

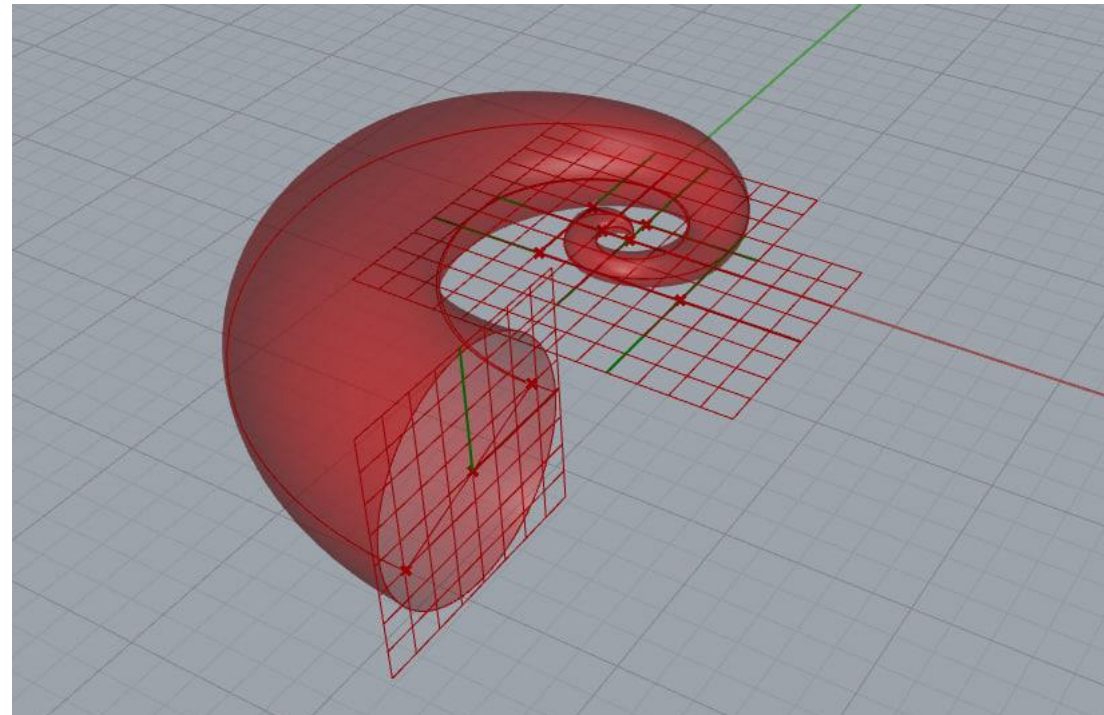
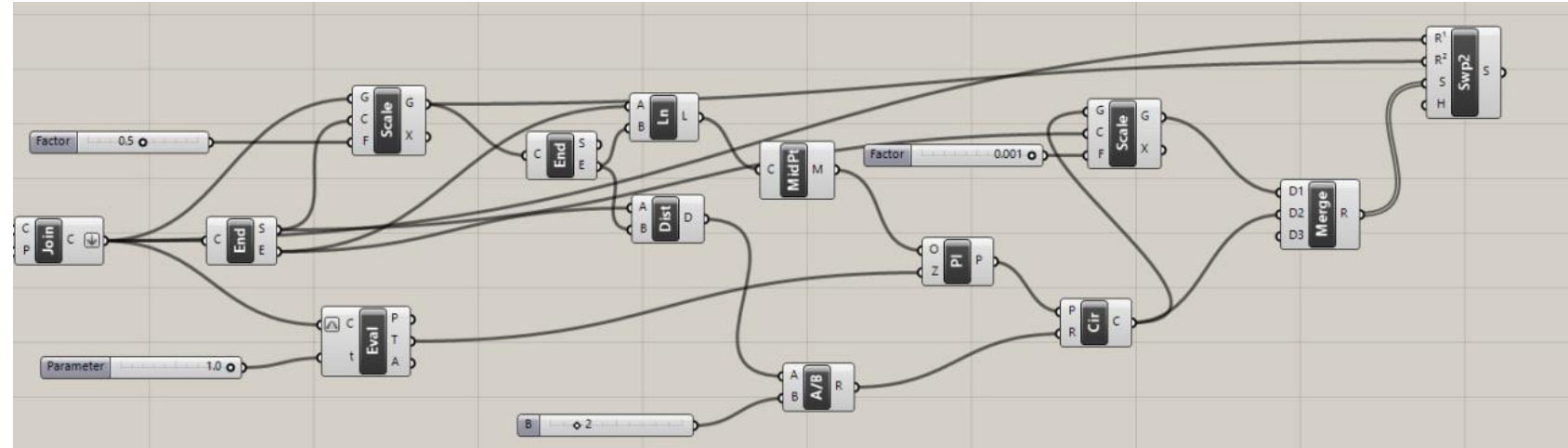
Componente Sweep2: Executa a geração da superfície tridimensional através das seguintes conexões estruturais:

Entrada R1 (Rail 1): Recebe a curva contínua da Directriz Exterior (proveniente do nó Join Curves).

Entrada R2 (Rail 2): Recebe a curva da Directriz Interior (proveniente do primeiro nó Scale, com fator 0.5).

Entrada S (Sections): É alimentada pela saída R do componente Merge, importando as duas secções ordenadas.

Justificação Geométrica: A utilização do varrimento com duas calhas em vez de uma (Sweep1) é geometricamente imperativa para controlar a orientação e a conicidade do volume ao longo de toda a trajetória. O componente interpola de forma fluida a transição de escala entre a secção infinitesimal inicial e a abertura terminal da concha. Ao apoiar-se simultaneamente nas duas diretrizes concêntricas de Fibonacci, o algoritmo anula qualquer torção indesejada na malha gerada, garantindo um sólido geométrico contínuo, biologicamente proporcional e matematicamente rigoroso.



MÉTODO 2

Guia de Modelação SPIRULA:

FASE 1: PARAMETRIZAÇÃO DO ESPAÇO NUMÉRICO (MÉTODO ALTERNATIVO)

1.1. Definição do Domínio e Divisões (Construct Domain, Multiplication & Range)

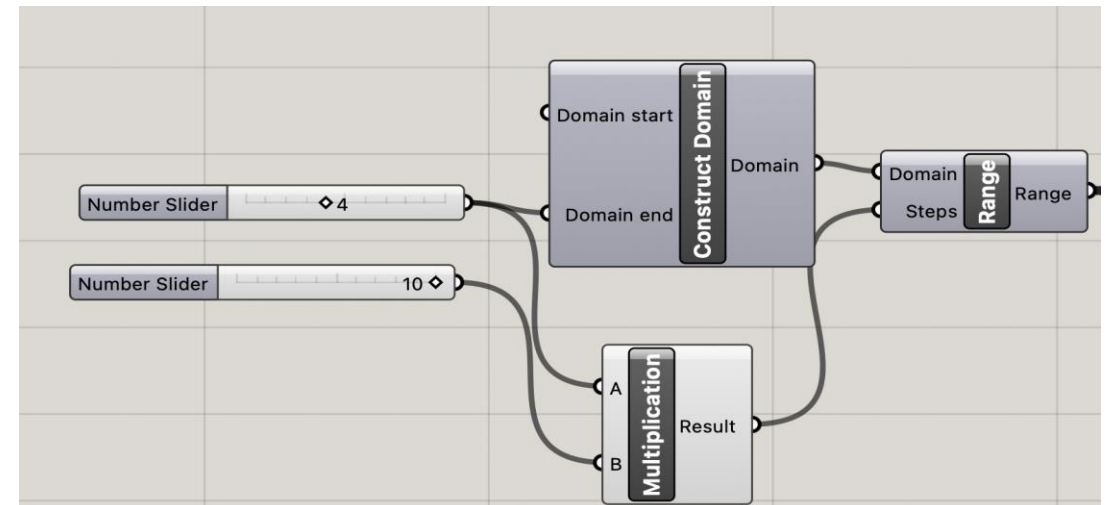
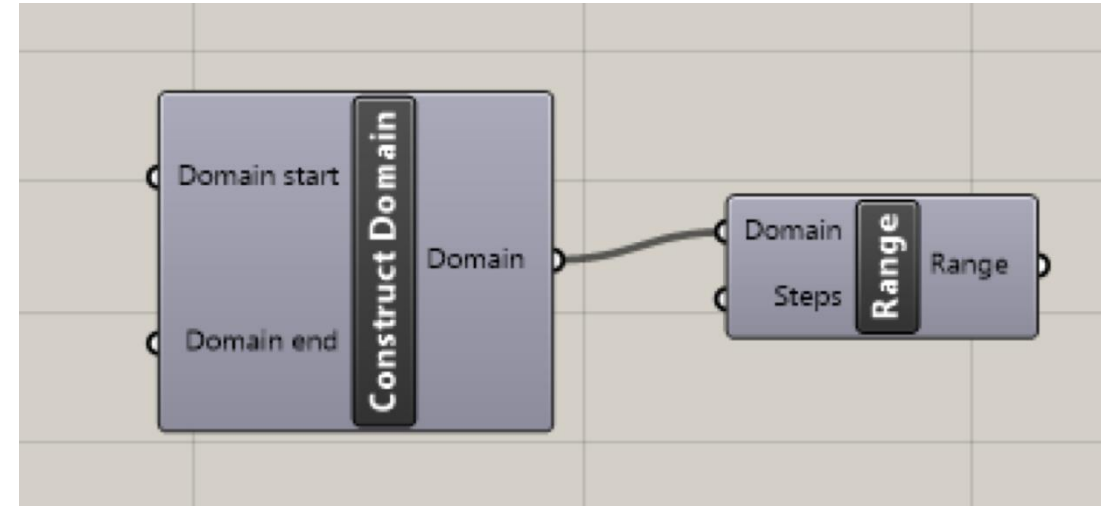
Para este método alternativo de criar a espiral, começámos por definir o intervalo numérico e o número de divisões que vão estruturar a curva. Usámos três componentes principais:

Construct Domain: Este nó serve para estabelecer o intervalo da nossa espiral. Como o início (Domain start) já vem em 0 por defeito, ligámos um Number Slider com o valor 4 ao Domain end. O nosso domínio final ficou de 0 a 4, o que vai controlar diretamente o número de voltas da espiral.

Multiplication: Usámos este componente para multiplicar o valor final do domínio (4, que entra na entrada A) por um segundo Number Slider com o valor 10 (na entrada B). O resultado desta conta dá 40.

Range: Este nó divide o domínio criado pelo número de passos (Steps). Ligámos a saída Domain do Construct Domain à entrada D do Range, e o resultado da multiplicação (40) à entrada S (Steps).

Com esta configuração, o Grasshopper gera automaticamente uma lista ordenada de 41 valores compassados (0, 0.1, 0.2... até 4). Esta lista vai ser fundamental no passo seguinte para criarmos uma curva contínua e fluida para a rapariga da concha, em vez de a fazermos por pedaços.



Guia de Modelação SPIRULA:

FASE 1: PARAMETRIZAÇÃO DO ESPAÇO NUMÉRICO (MÉTODO ALTERNATIVO)

1.2. Modulação Exponencial e Ângulo (Power & Multiplication)

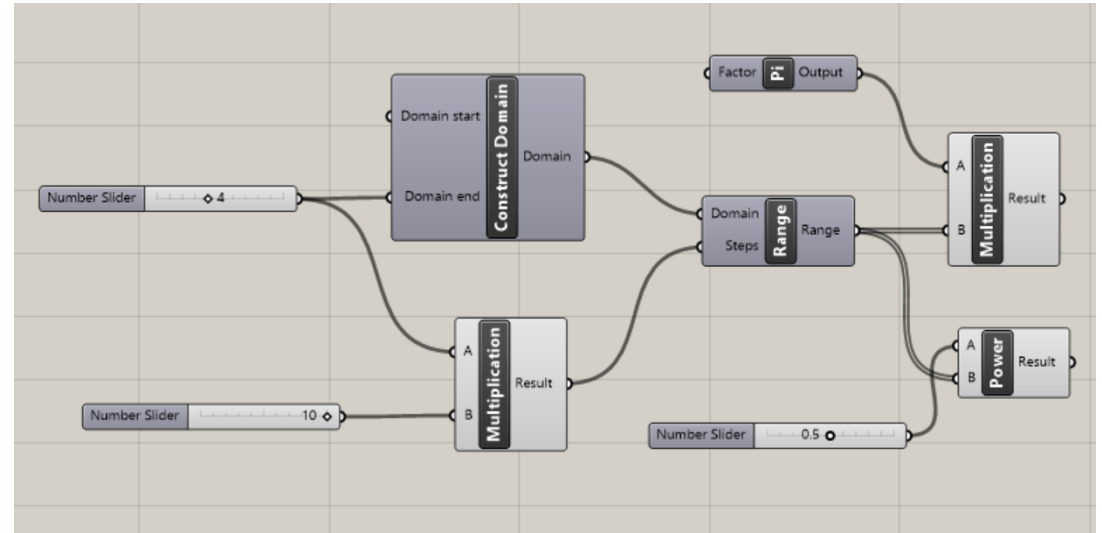
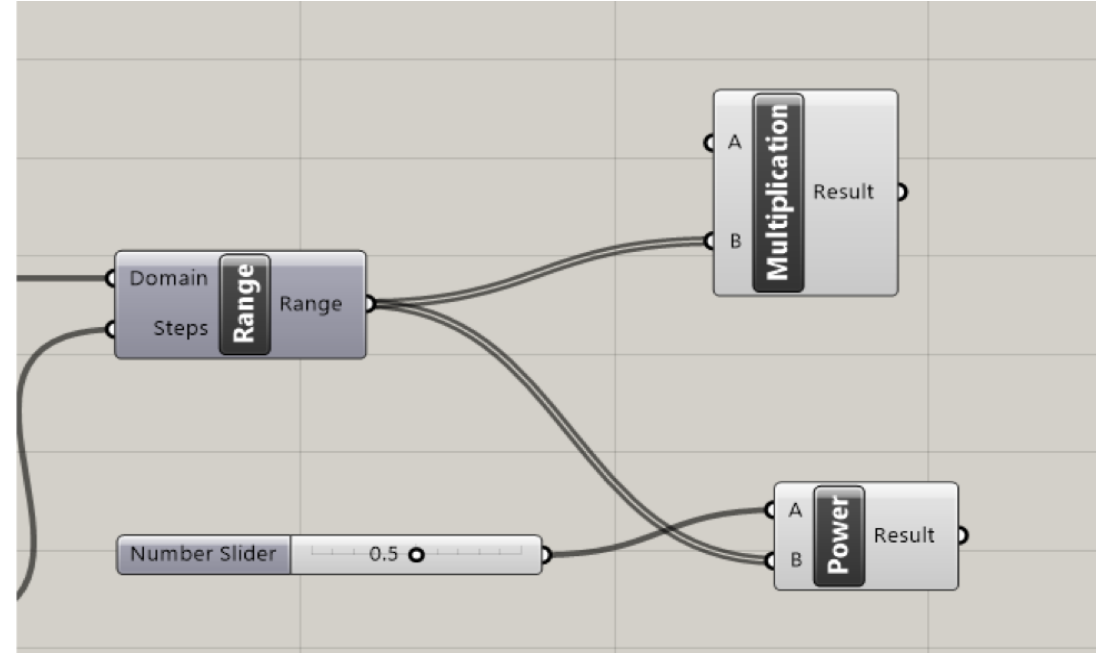
A lista de 41 valores gerada pelo Range divide-se em dois canais paralelos:

Power: Eleva a base constante de 0.5 (entrada A) ao expoente dos valores da lista (entrada B). Como a base é menor que 1, gera um decréscimo exponencial que cria o afunilamento orgânico da concha.

Multiplication: Aplica um fator linear à mesma lista para podermos controlar a abertura angular da espiral.

1.3. Conversão para Radianos (Pi)

Multiplicação por Pi: As funções trigonométricas no Grasshopper utilizam radianos em vez de graus (onde 180° equivale a π). Para fazer esta conversão, ligou-se o componente Pi à entrada A do nó Multiplication do passo anterior. Isto transforma os números da lista em ângulos reais de rotação para desenhar a curva.



Guia de Modelação SPIRULA:

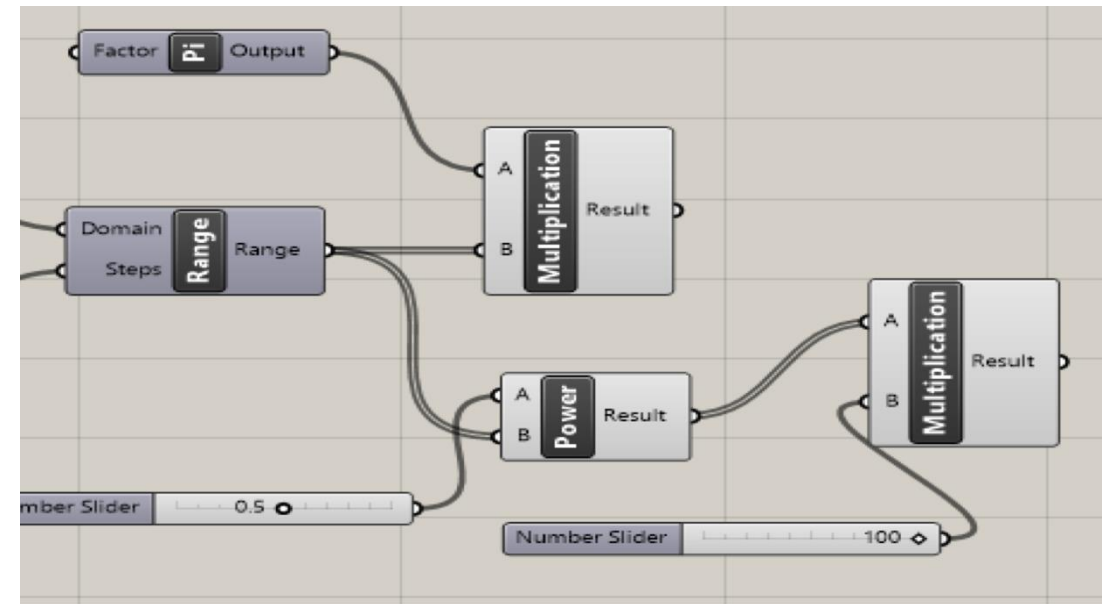
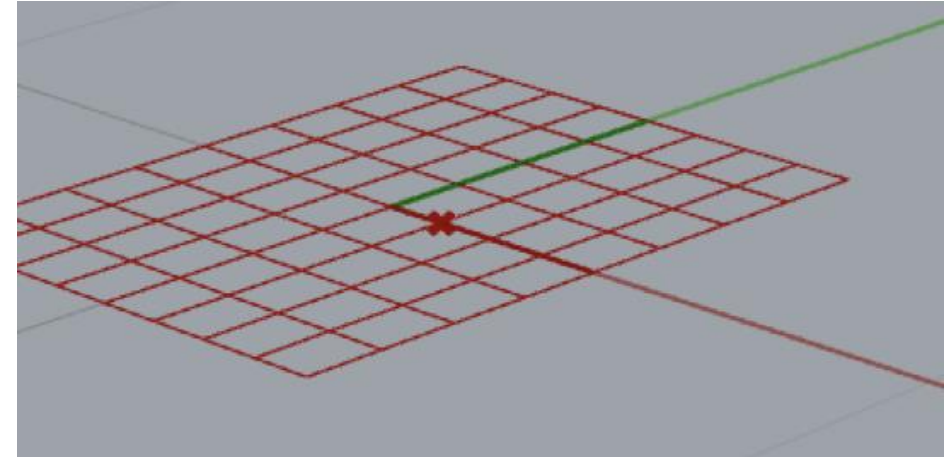
FASE (MÉTODO ALTERNATIVO)

1.4. Cálculo do Raio e Geração de Pontos (Multiplication & Point Cylindrical) Para controlar o tamanho real da concha e começar a gerar a geometria no espaço, utilizámos um terceiro nó de multiplicação conectado a um componente de coordenadas cilíndricas:

Multiplication (Fator de Escala): Ligámos a saída do nó Power à entrada A e um Number Slider configurado em 100 à entrada B. Este slider funciona como o controlo de escala global da concha: ele multiplica os valores exponenciais decrescentes para expandir a espiral no espaço tridimensional. Se aumentarmos este valor, o tamanho total da concha cresce proporcionalmente.

Point Cylindrical: Conectámos o resultado desta multiplicação diretamente à entrada Radius (Raio) deste componente.

Nota de comportamento: Como se nota no Grasshopper, os fios que saem do Range são duplos porque transportam uma lista numérica (neste caso, os 41 valores). Ao ligar esta lista ao Point Cylindrical, vemos imediatamente no model space do Rhino uma sequência ordenada de pontos a afastar-se do centro, que deriva diretamente de todos os cálculos matemáticos feitos até aqui.



Guia de Modelação SPIRULA:

FASE (MÉTODO ALTERNATIVO)

1.5. Organização dos Pontos em Coordenadas Cilíndricas (Point Cylindrical)

O componente Point Cylindrical é o responsável por transformar toda a nossa lista de dados matemáticos em pontos visíveis no Rhino, organizando-os através de três inputs:

Angle: Recebe a lista de valores convertida em radianos (multiplicados por π), definindo a rotação dos pontos em redor do centro (eixo Z).

Radius: Recebe os valores exponenciais multiplicados pelo slider de 100, ditando a distância de cada ponto em relação à origem. Como o raio cresce a cada passo, os pontos afastam-se progressivamente.

Elevation: Inicialmente, como teste do exercício anterior, esta entrada recebeu os mesmos valores do raio. Isto fez com que os pontos subissem no eixo Z à medida que a espiral abria, gerando uma hélice cônica tridimensional.

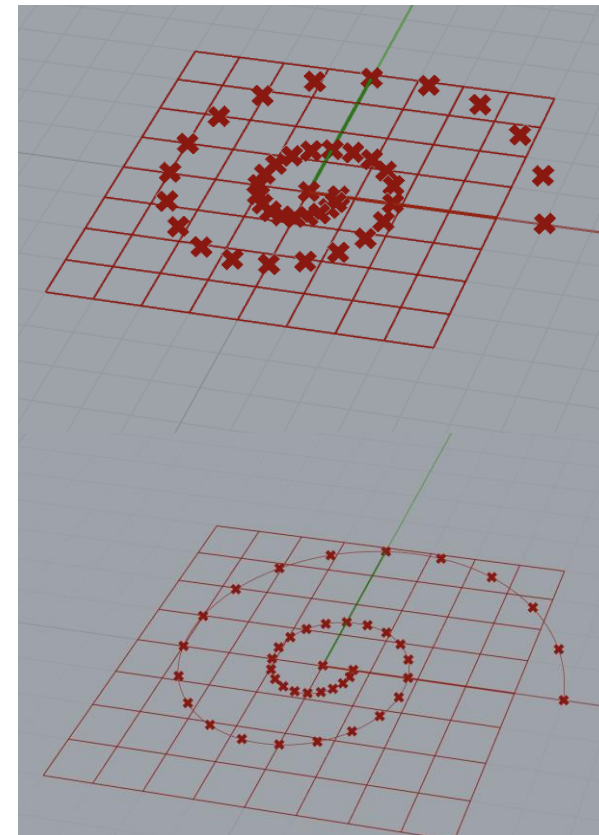
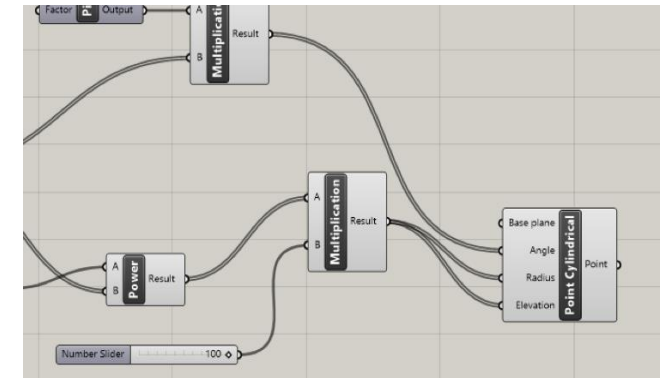
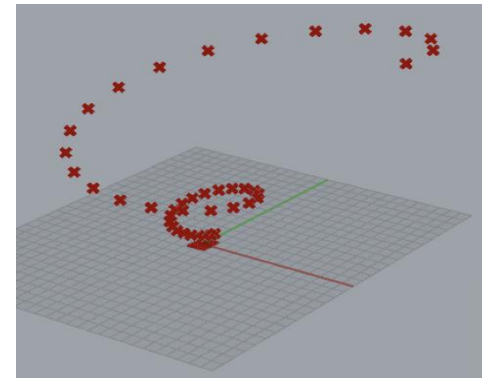
Ajuste para a Spirula: Como a concha da nossa Spirula é uma espiral totalmente plana, esta elevação na vertical não está correta para o exemplar em estudo. Para corrigir o modelo, basta deixar o input Elevation vazio (ficando em 0 por defeito), forçando todos os pontos a assentarem exclusivamente no plano horizontal XY.

1.6. Interpolação da Curva e Verificação (Interpolate & Curve Closest Point)

Para transformar a nuvem de pontos numa geometria contínua e garantir que tudo ficou correto, utilizámos dois componentes:

Interpolate: Este nó agrupa a lista ordenada de pontos e desenha uma curva fluida que passa exatamente por cada um deles. É esta linha resultante que vai funcionar como a diretriz (calha) principal para guiar o crescimento da concha.

Curve Closest Point: Ligámos os pontos originais à entrada Point e a curva acabada de criar à entrada Curve. O objetivo deste componente é calcular a projeção ortogonal e a distância entre os pontos e a linha. Como a curva nasceu a partir desses mesmos pontos, a distância é zero, o que serve para confirmar que o alinhamento geométrico está perfeito.



Guia de Modelação SPIRULA:

FASE (MÉTODO ALTERNATIVO)

1.7. Extração de Propriedades Geométricas (Curvature & Evaluate Curve)

Para fazermos com que a espessura da concha mude de forma realista ao longo do caminho, usámos os componentes Curvature e Evaluate Curve conectados aos parâmetros gerados anteriormente:

Curvature: Analisa a espiral e calcula o raio de curvatura local para cada ponto. No centro da espiral (zona mais apertada) o raio é muito pequeno, enquanto na periferia (zona aberta) o raio é grande. Esta variação automática vai ditar a escala das secções do tubo da Spirula.

Evaluate Curve: Extrai os vetores geométricos locais da curva para cada um dos pontos, fornecendo-nos a direção tangente da espiral a cada instante.

1.8. Orientação Espacial e Planos de Trabalho (Cross Product & Construct Plane)

Para podermos desenhar os perfis circulares ao longo da concha sem que estes fiquem distorcidos ou tombados, foi necessário gerar planos perpendiculares à trajetória:

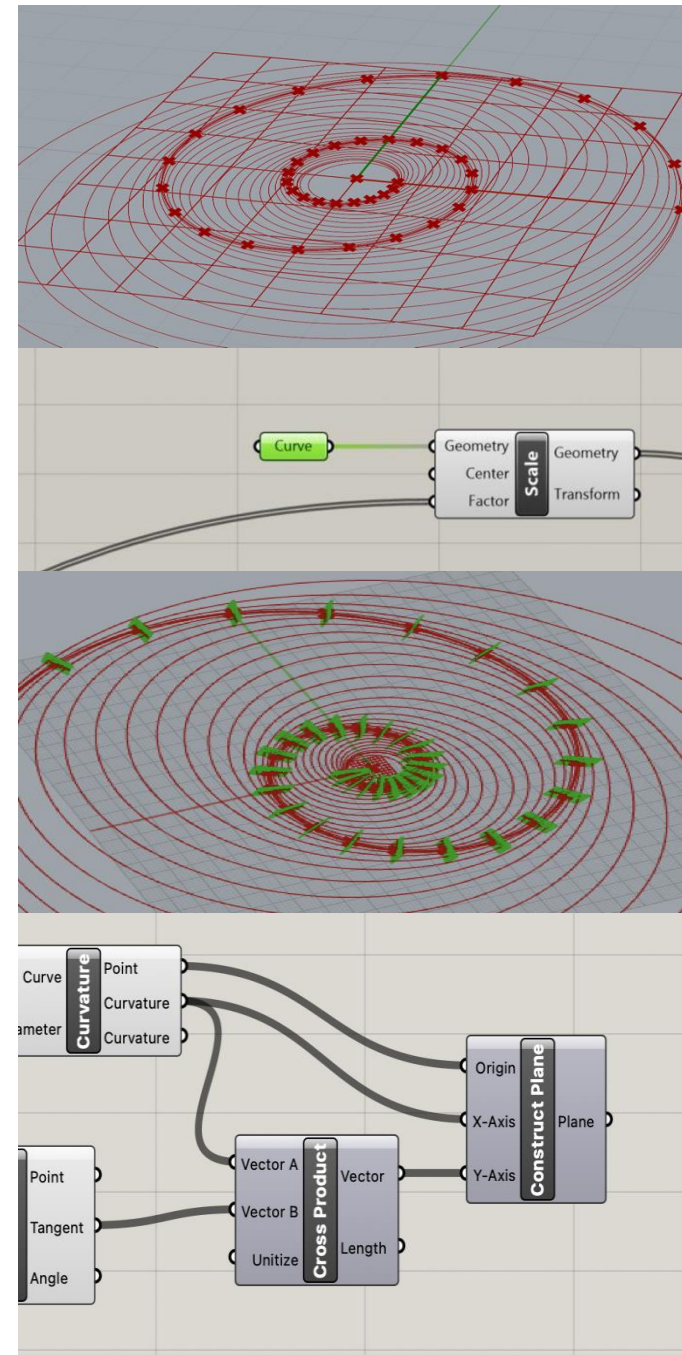
Cross Product: Este nó faz o produto vetorial entre o vetor da direção da curvatura (Entrada A) e o vetor tangente (Entrada B). O resultado gera um vetor vertical puro (eixo Z) que impede a torção indesejada da geometria.

Construct Plane: Reúne as informações anteriores para estruturar um plano de trabalho local para cada ponto da espiral:

Origin (Origem): Posiciona e centra cada plano na coordenada física correspondente ao longo da curva.

X-Axis (Eixo X): Direcionado pelo vetor de curvatura, apontando sempre para o centro da espiral.

Y-Axis (Eixo Y): Recebe o vetor vertical vindo do Cross Product, orientando o plano para cima.

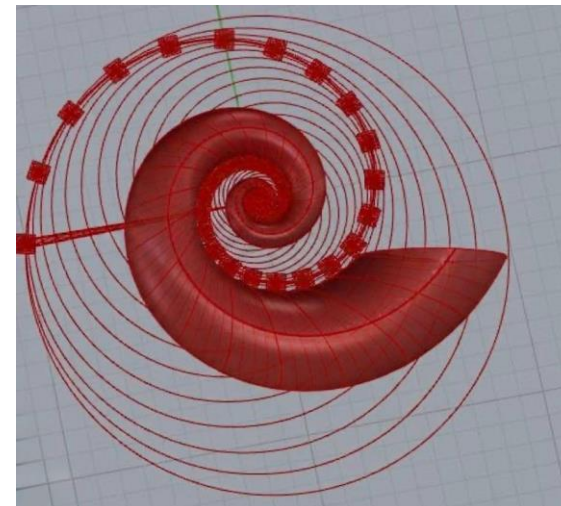
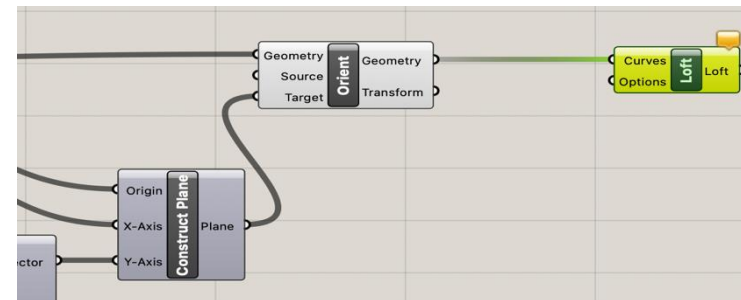
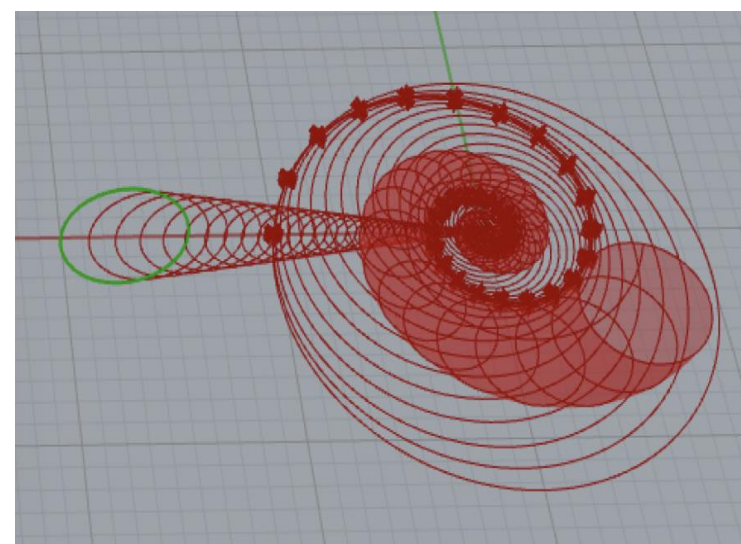


FASE (MÉTODO ALTERNATIVO)

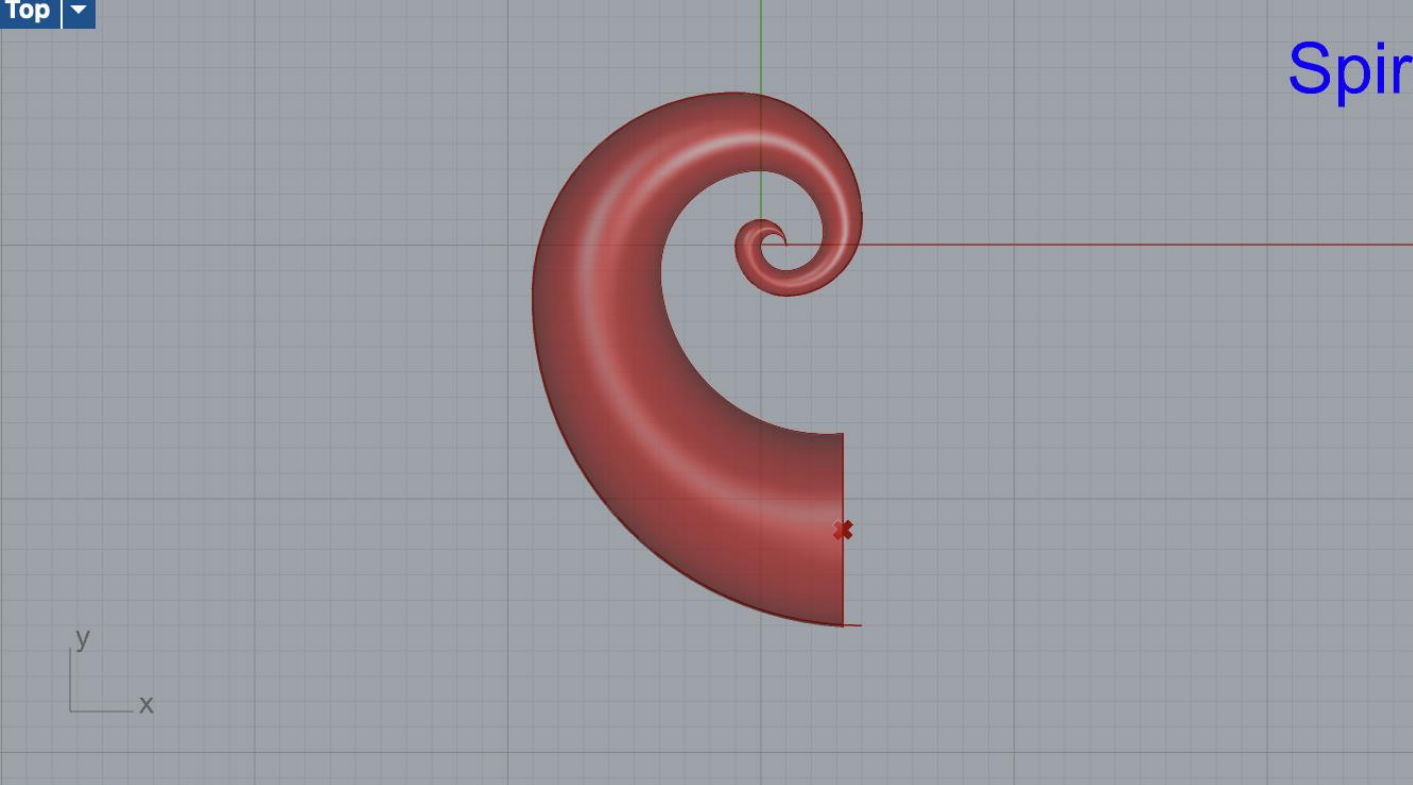
De seguida, utilizou-se o componente Orient para mapear e posicionar a circunferência de molde (geratriz) em cada um dos planos locais gerados ao longo da espiral. Isto garantiu que o perfil circular acompanhasse o percurso adaptando-se ao raio variável de cada ponto.

Loft: Este componente recebeu todas as secções circulares orientadas ao longo da diretriz e gerou uma superfície contínua e fluida. Como se vê nas imagens (em roxo e vermelho translúcido), o resultado é o volume perfeito da concha, que se expande organicamente do centro para a periferia.

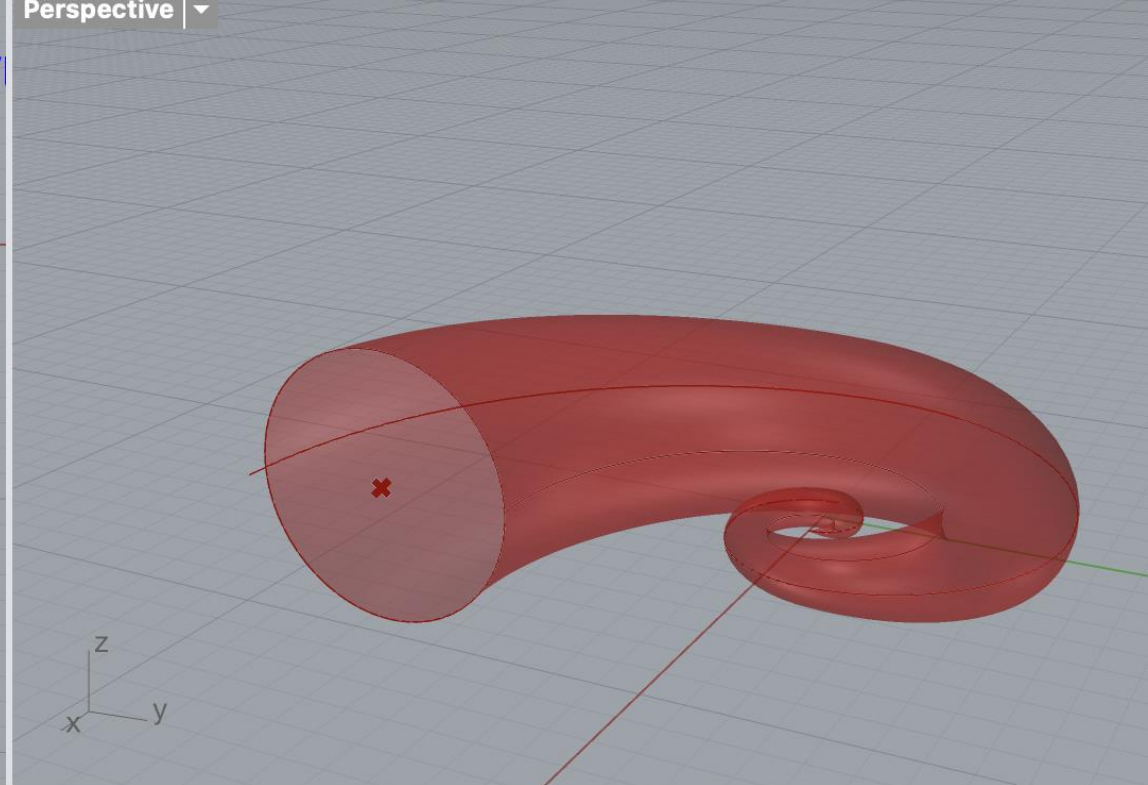
Bake: Sendo o Grasshopper um ambiente de modelação paramétrica abstrata, utilizámos a função Bake ("cozinhar") no componente Loft para descarregar a forma final para o Rhino. Através da janela de atributos, organizámos a geometria numa camada (Layer) própria chamada "Spirula", transformando o código num objeto físico e texturizado pronto para a entrega.



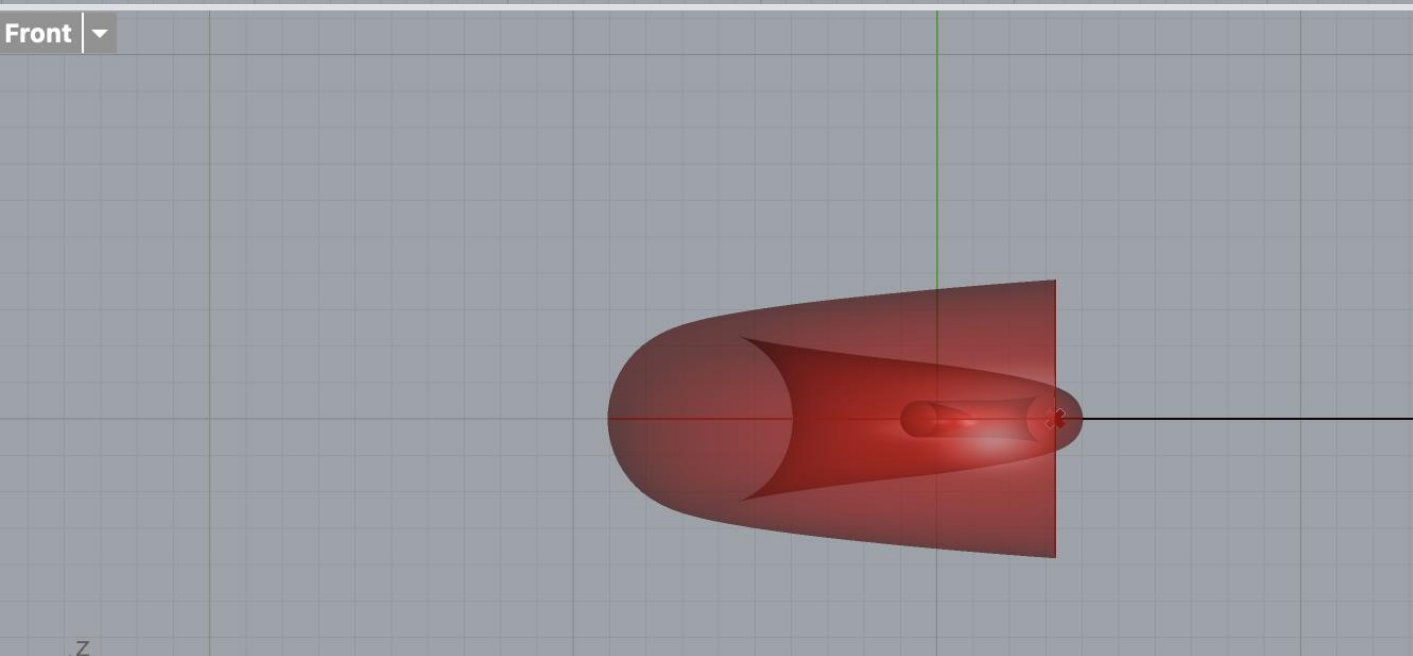
Top ▾



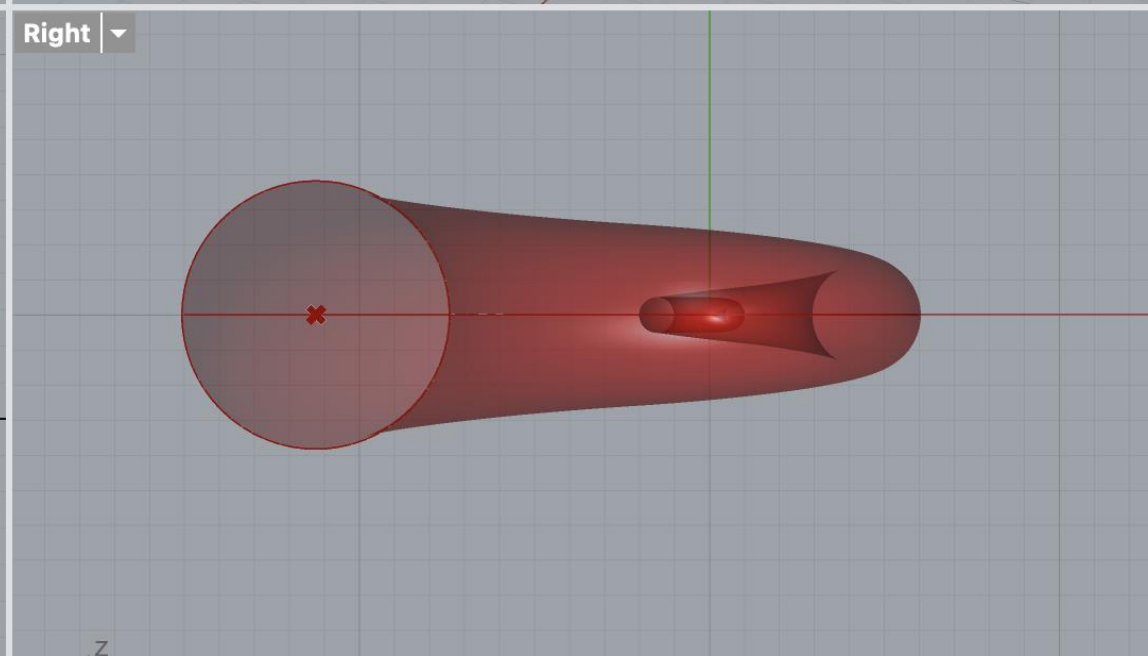
Perspective ▾



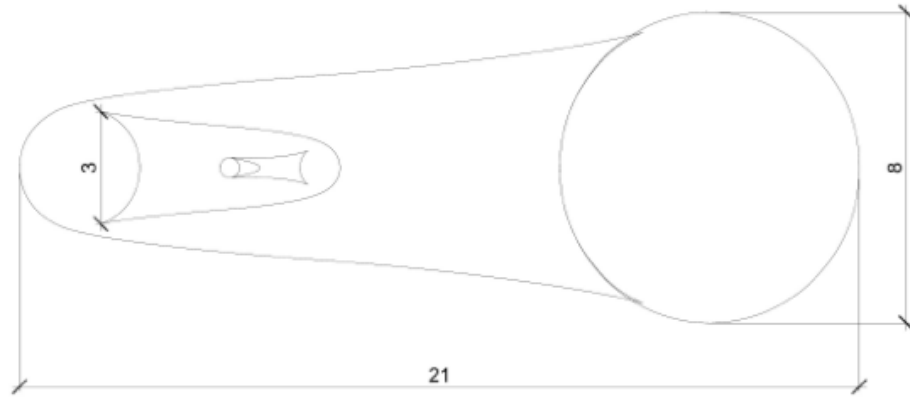
Front ▾



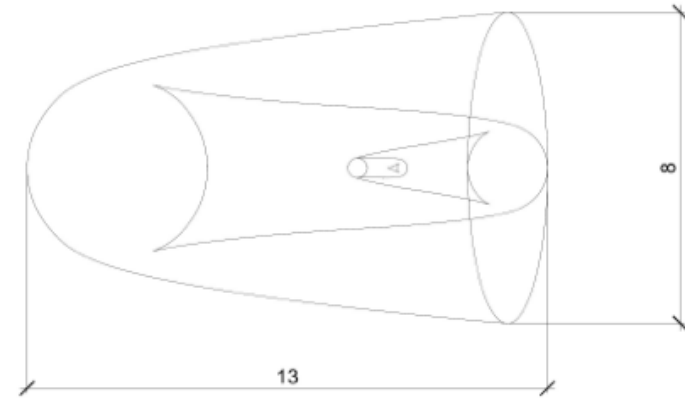
Right ▾



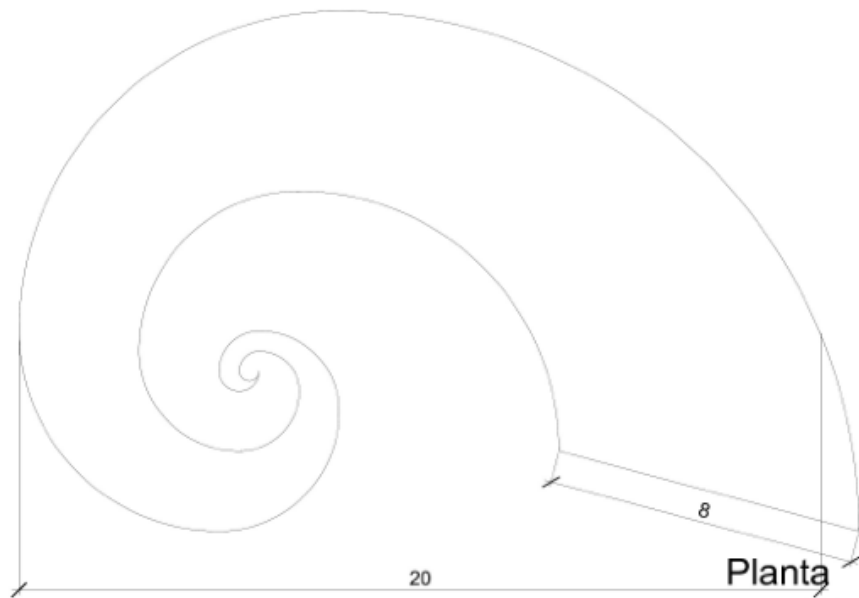
SPIRULA



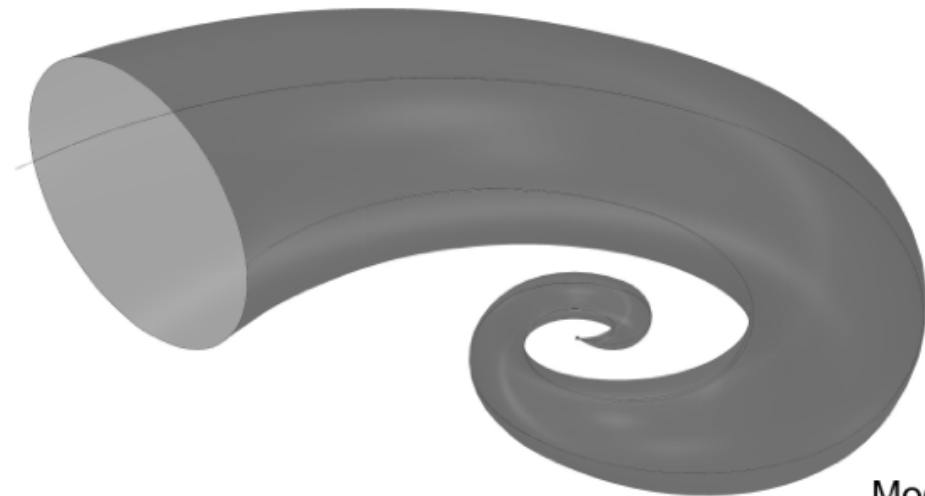
Vista frontal
esc.1/1.2



Vista lateral
esc.1/1.2



Planta
esc.1/1.2



Modelo

SPIRULA GRASSHOPPER

SPIRULA

