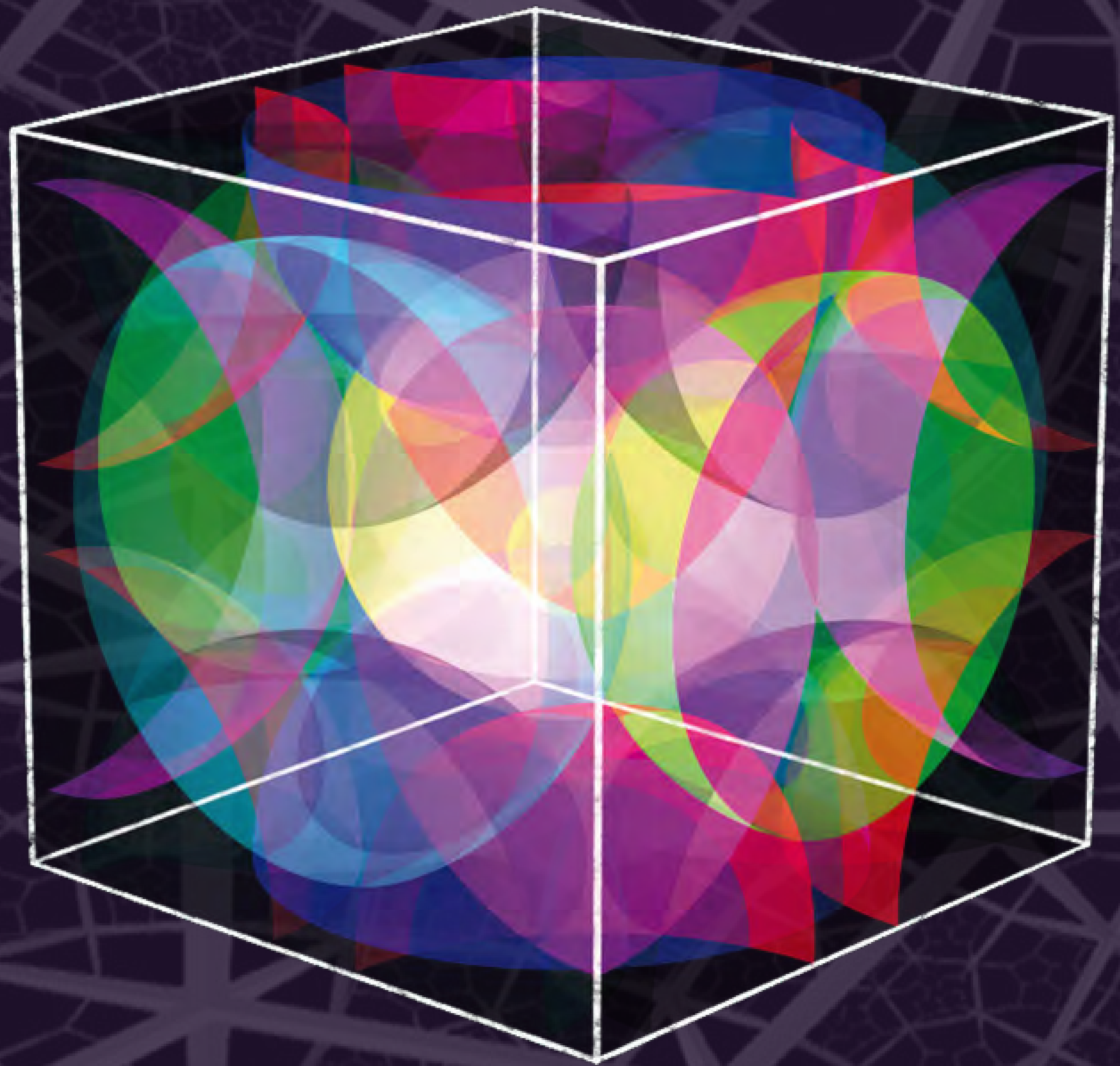
UM PROJETO EM PARCERIA BRASIL-FRANÇA



uma abordagem
sensível ao
universo da
Geometria
e da Topologia

UM OLHAR NOS ESPAÇOS DE DIMENSÃO 3

o catálogo da exposição de P. Berger e P.-Y. Fave

Prefácio

A natureza dos espaços tridimensionais constitui o tema da exposição “Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3” realizada pelos autores franceses Pierre Berger e Pierre-Yves Fave, com a participação dos cientistas e artistas brasileiros Luiz Velho, Alex Laier e Sergio Krakowski. Este catálogo, desenvolvido por Luiz Velho e Júlia Rabetti Giannella, reúne os conteúdos principais da exposição Franco-Brasileira. Para informações sobre a versão interativa do catálogo acesse http://olhar3d.impa.br/catalogo/.

A classificação das superfícies, que são espaços bidimensionais, é um problema clássico da Matemática e foi resolvido há mais de 100 anos. A solução é o teorema que diz que as superfícies fechadas orientáveis são equivalentes, em termos topológicos, à esfera ou ao n-toro. Dessa forma, temos três classes de espaços fundamentais: *esférico*, *plano* (toro de genus igual a 1) e *hiperbólico* (toro de genus maior que 1).

Em 2002, o matemático russo Grigori Perelman provou o Teorema de Geometrização de Thurston sobre a classificação dos espaços de dimensão 3 e, como consequência, resolveu a famosa Conjectura de Poincaré, um dos problemas do milênio que estava em aberto desde 1904.

Na exposição, assim como neste catálogo, revelamos de forma intuitiva esse resultado revolucionário da Matemática através de ilustrações, fotografias e imagens esquemáticas para que o leitor possa vislumbrar a beleza das ideias envolvidas. Assim, cada parte do catálogo representa um dos conceitos que fazem parte dessa teoria.

A filosofia da exposição consiste em descrever as noções matemáticas sem fórmulas e com um mínimo de textos. Com isso, privilegiamos uma abordagem sensorial, por elementos audiovisuais, mostrando aspectos puramente geométricos.

CAPÍTULO 1

Exposição Olhar 3D

A realização da exposição é fruto da colaboração de um grupo multidisciplinar, formado por pesquisadores e artistas brasileiros e franceses de importantes instituições, como o Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS / França), o Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), o Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST) e a Universidade Federal Fluminense (UFF).

Introdução

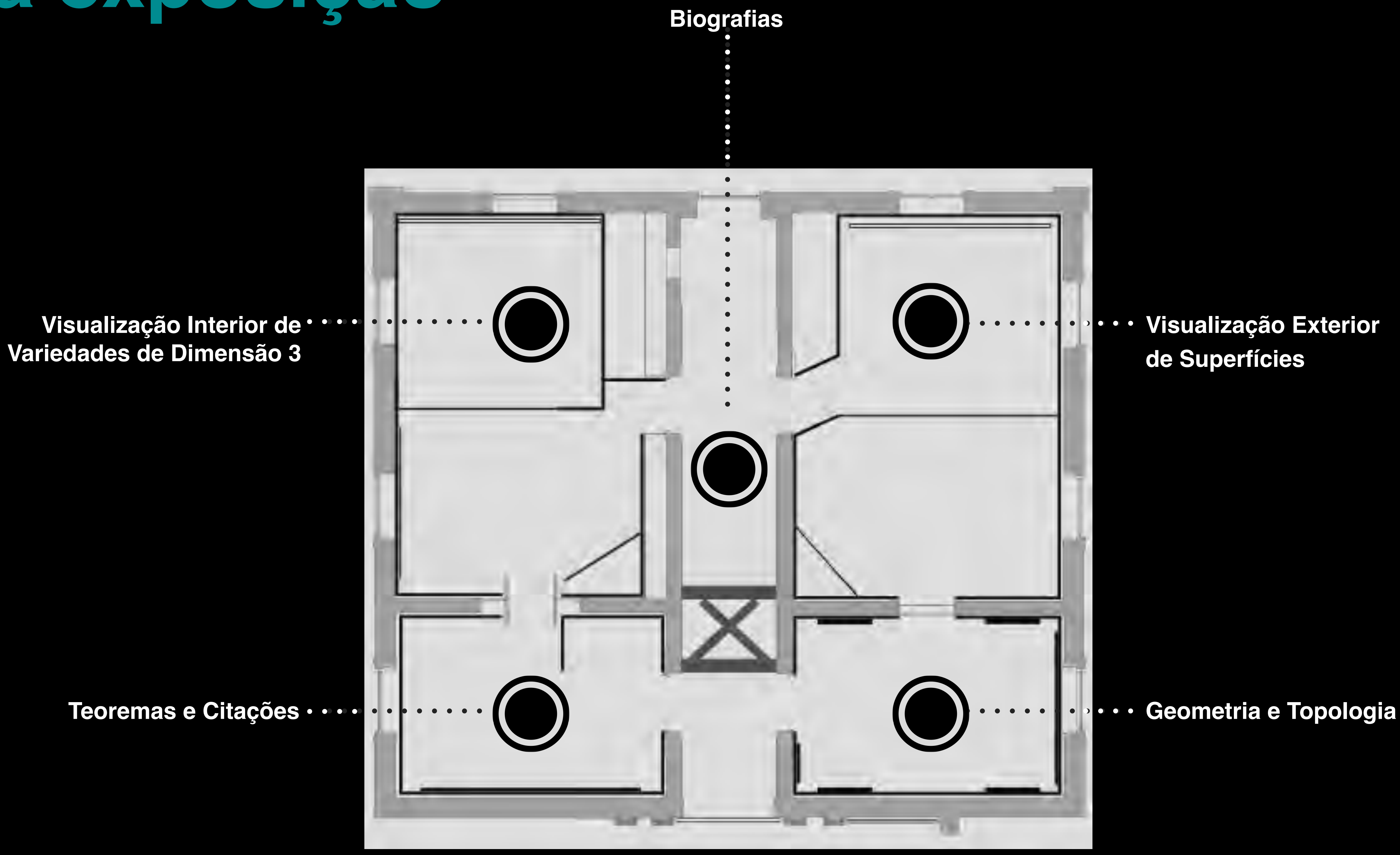
A exposição "Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3", em cartaz desde 22 de janeiro de 2015, no MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro), se divide em cinco partes distintas, que incluem:

- uma introdução aos conceitos de Geometria e Topologia;
- instalação interativa sobre variedades de dimensão 2;
- instalação interativa sobre variedades de dimensão 3;
- uma apresentação de teoremas e citações relevantes sobre o assunto;
- uma seção de biografias sobre os matemáticos pioneiros em estudos relativos ao tema.

Para mais informações acesse o site da exposição em http://olhar3d.impa.br.

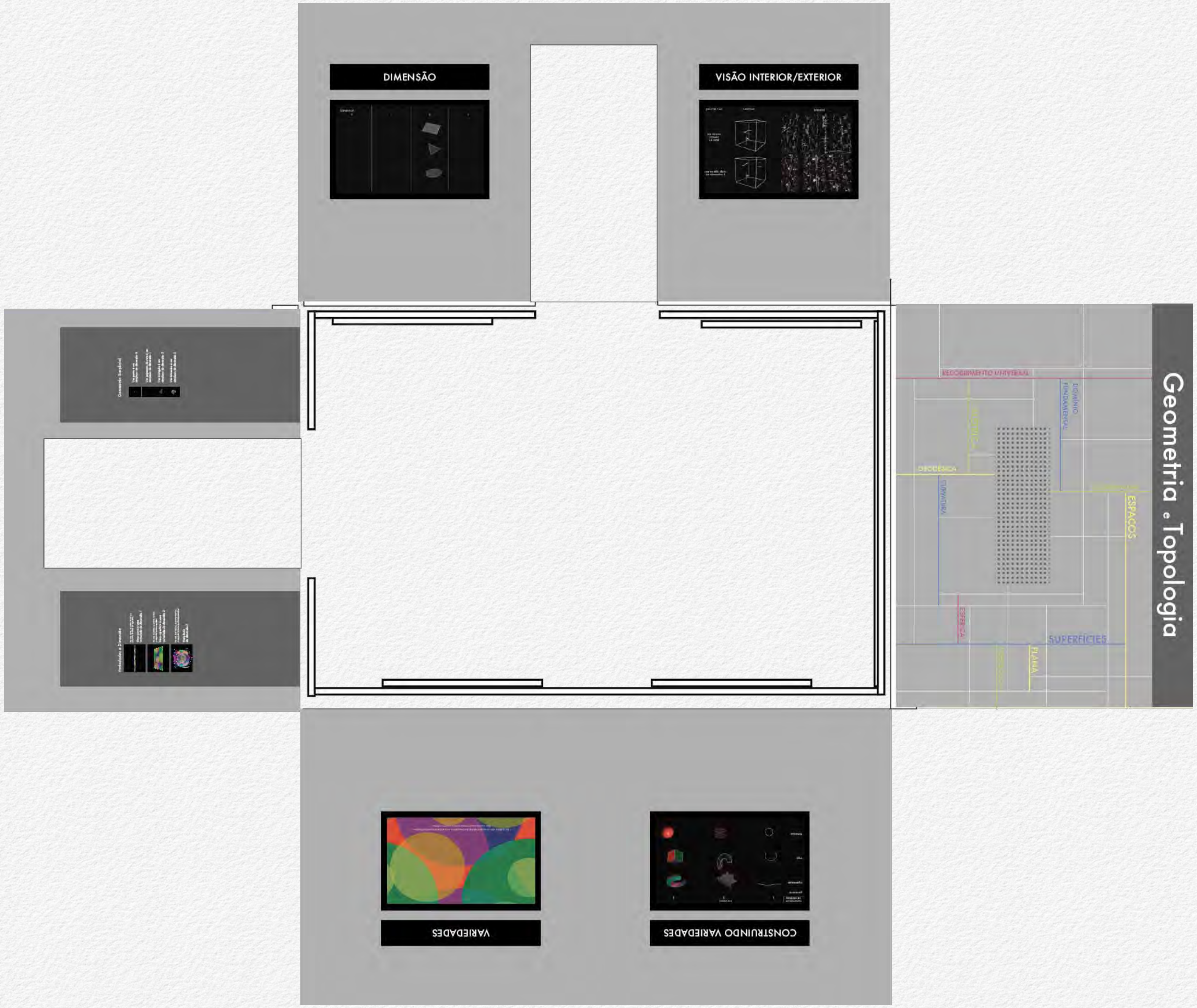
O MAST está localizado na Rua General Bruce, 586, no bairro de São Cristovão (Rio de Janeiro).

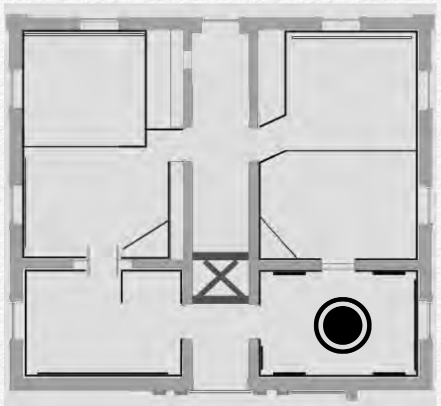
Planta baixa da exposição



Geometria e Topologia

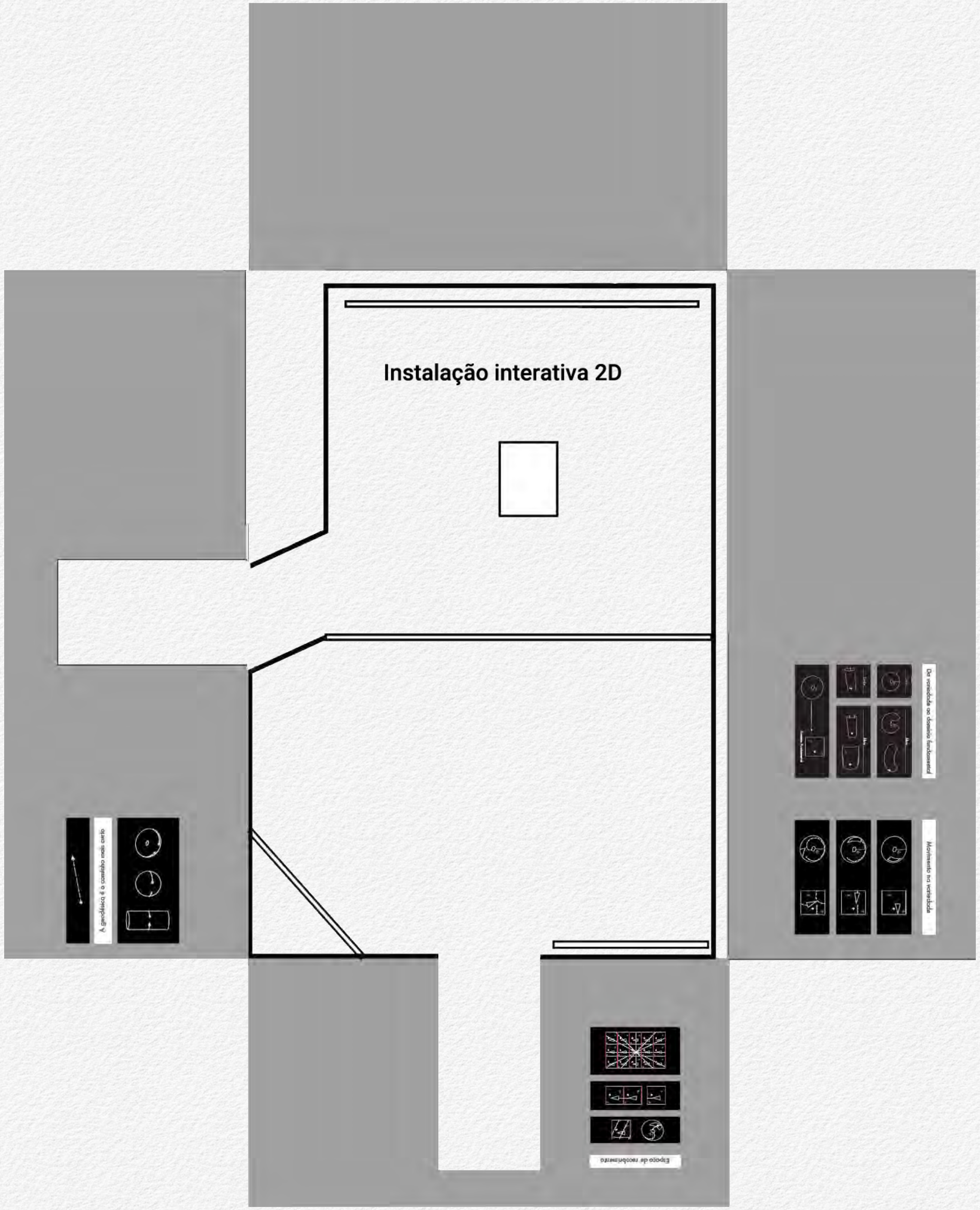
Essa parte da exposição aborda conceitos básicos de dimensão, topologia e espaços não-euclidianos, além de investigar as variedades tridimensionais através de vídeos.

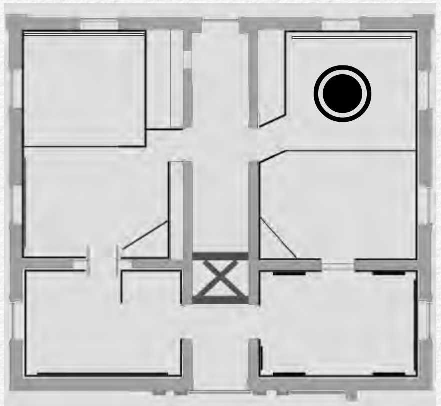




Visualização Exterior de Superfícies

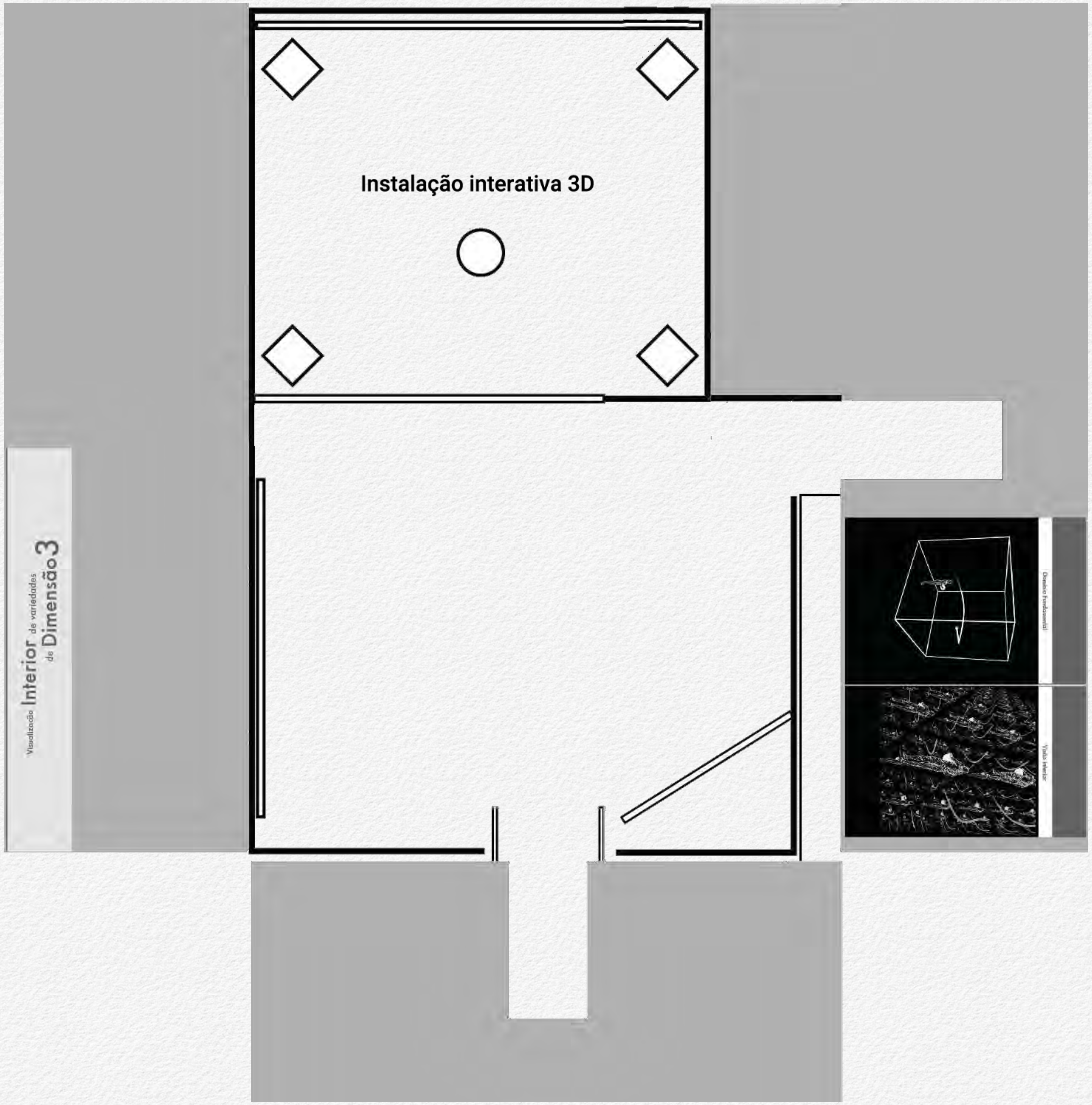
A segunda parte da exposição tem o objetivo de permitir uma investigação intuitiva das variedades de dimensão 2 através de ilustrações e de uma instalação para visualização interativa.

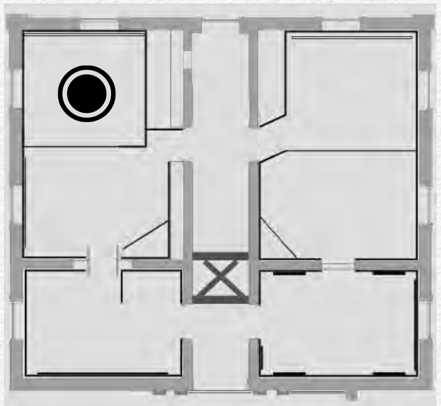




Visualização Interior de Variedades de Dimensão 3

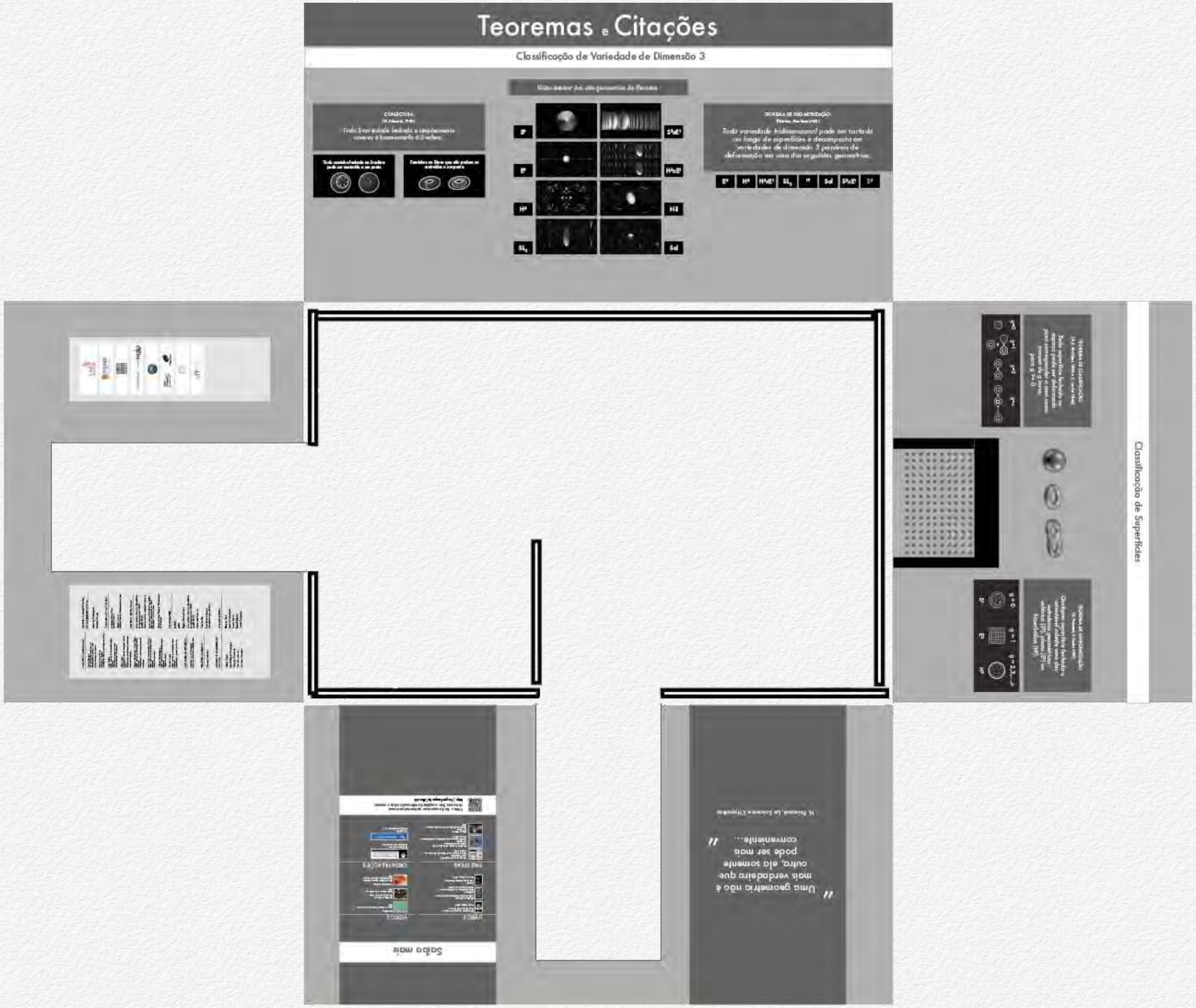
A terceira parte da exposição tem o objetivo de permitir uma investigação intuitiva das variedades de dimensão 3 através de ilustrações e de uma instalação para visualização interativa.

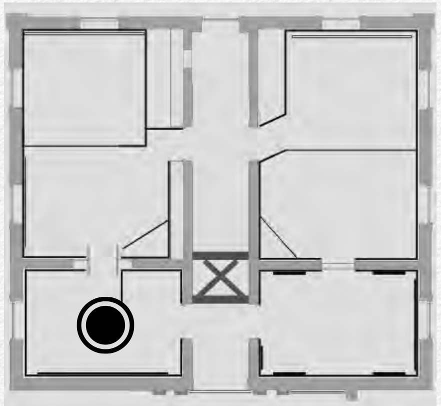




Teoremas e Citações

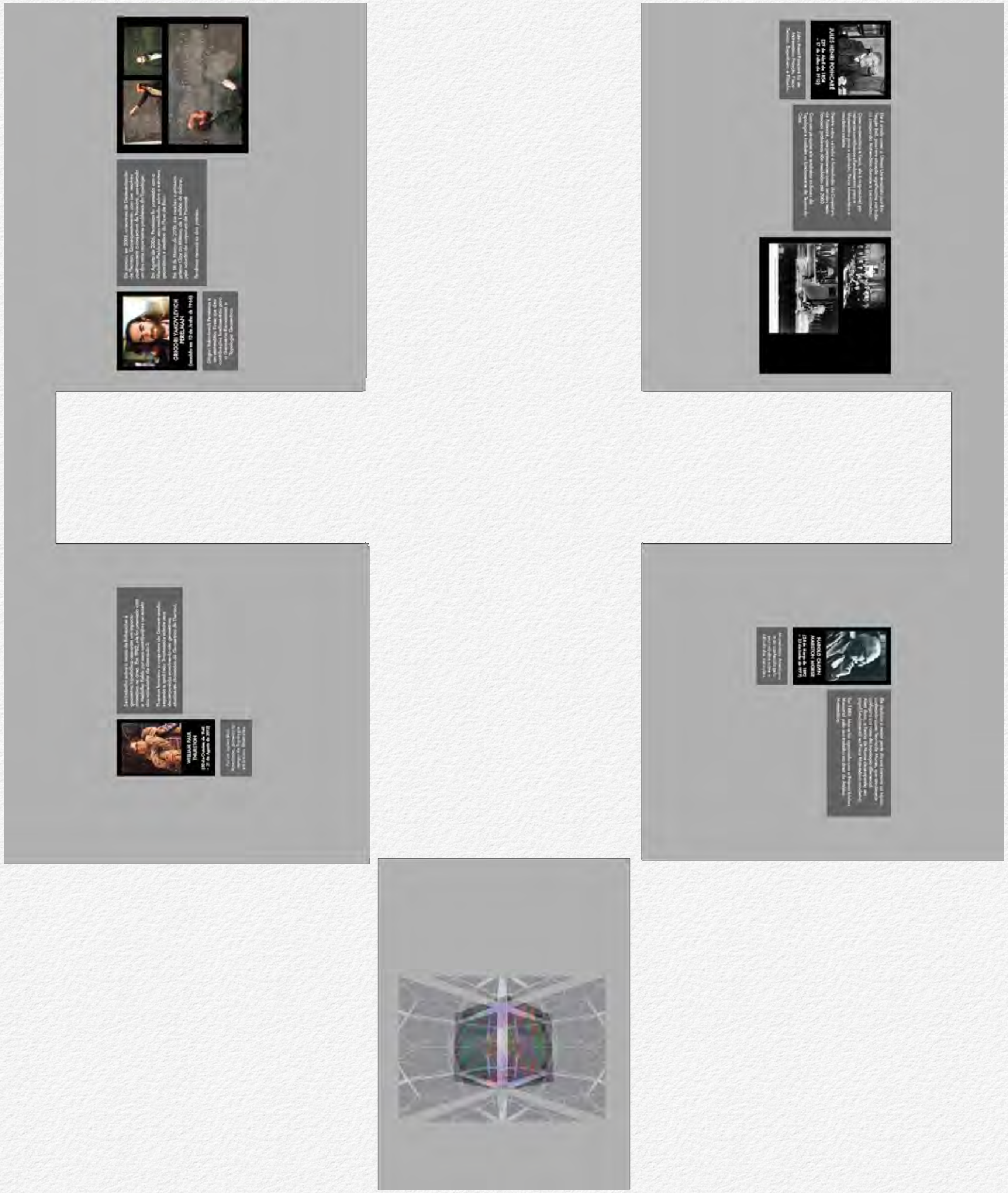
A quarta parte da exposição apresenta citações e teoremas relevantes sobre as variedades de dimensão 2 e 3.

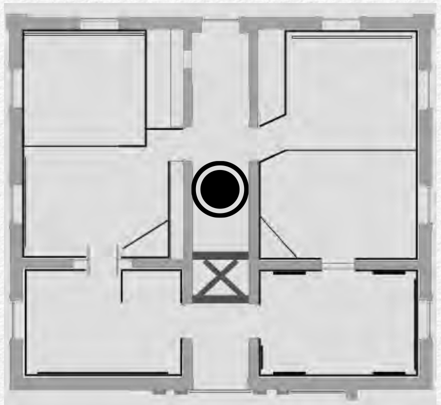




Biografias

A exposição ainda oferece um histórico sobre os principais matemáticos, problemas e prêmios relacionados à Conjectura de Poincaré.





CAPÍTULO 2

Geometria e Topologia

Esta parte do livro aborda conceitos básicos de Geometria e Topologia, incluindo a noção de dimensão e também definições de variedades bidimensionais, tridimensionais e espaços não-euclidianos.

Dimensão

Categoria de objetos em dimensões 0, 1, 2 e 3

Para ilustrar o conceito de dimensão, usamos três categorias de objetos que tem a sua equivalência em todas as dimensões: bolas, simplexos, e cubos.

A imagem mostra esses conceitos simultaneamente através dos objetos em cada uma dessas quatro dimensões. Primeiro uma bola, depois um simplexo e finalmente um cubo de dimensão 0, 1, 2 e 3.

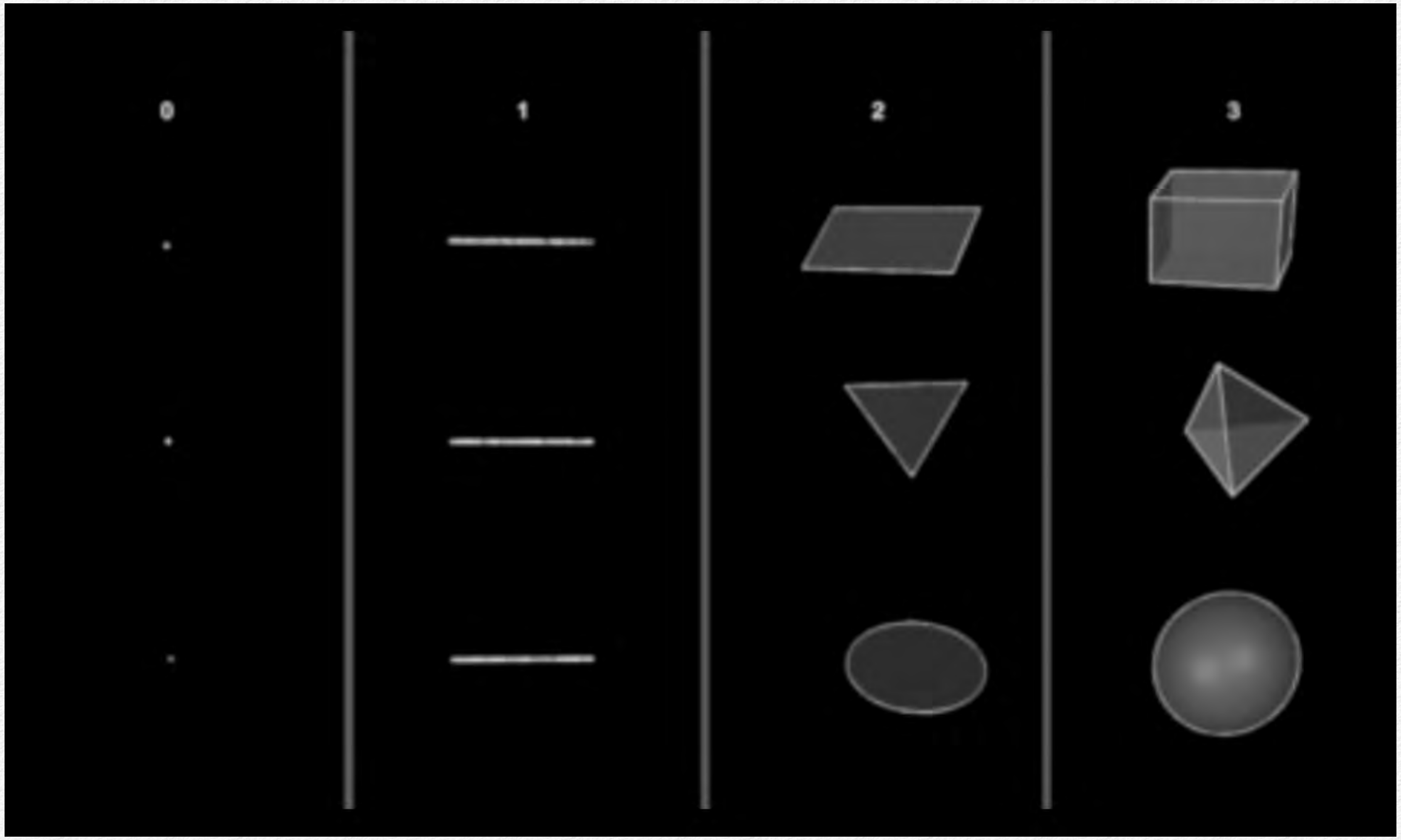
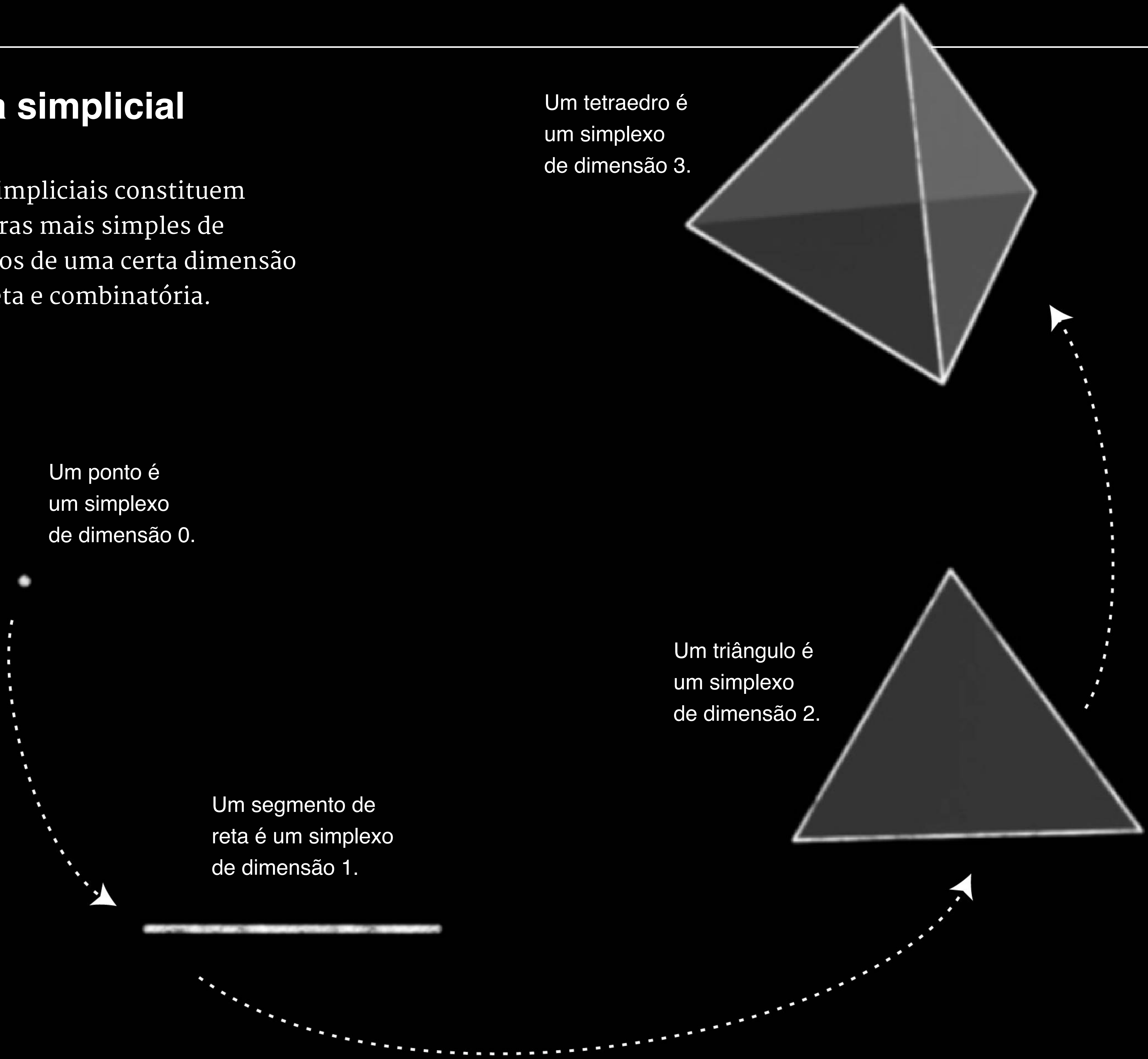


Figura 2.1 Objetos em suas quatro dimensões. A imagem apresenta o desenvolvimento progressivo das dimensões, a fim de ilustrar seus princípios construtivos. Por exemplo, no caso do cubo, são adicionadas progressivamente estruturas ortogonais para que o objeto passe de uma certa dimensão para uma superior.

Geometria simplicial

As estruturas simpliciais constituem uma das maneiras mais simples de descrever objetos de uma certa dimensão de forma discreta e combinatória.

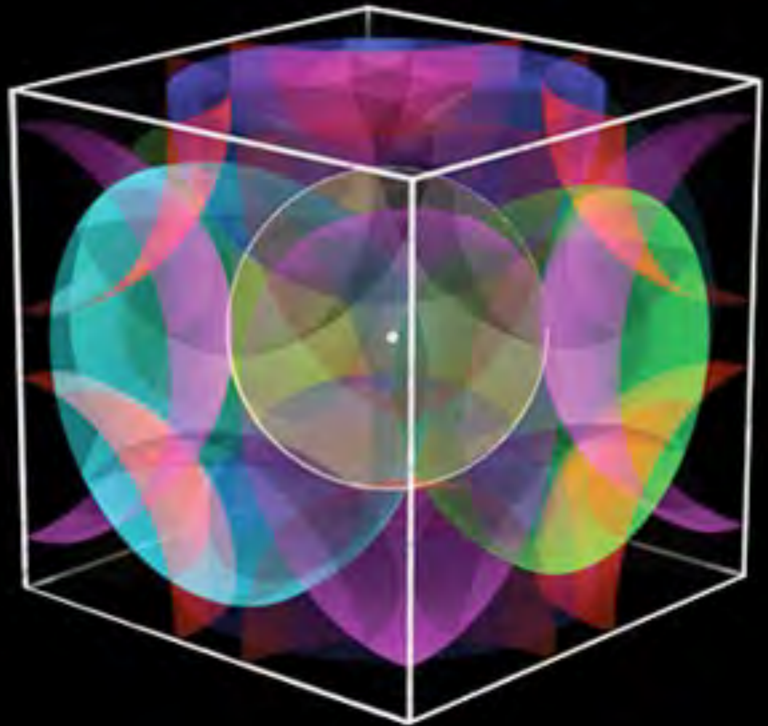


Em uma curva, os pontos vizinhos a um ponto formam um segmento. Uma curva é uma variedade de dimensão 1.

Variedades

Em Matemática, uma variedade é um espaço topológico que se assemelha localmente ao espaço euclidiano. Linhas e círculos são variedades unidimensionais. Variedades bidimensionais são também chamadas de superfícies. Exemplos incluem o plano, a esfera e o toro. Essas formas também têm equivalentes em dimensão três.

Em uma superfície, os pontos vizinhos a um ponto formam um disco. Uma superfície é uma variedade de dimensão 2.



Em uma 3-variedade, os pontos vizinhos a um ponto formam uma bola. Uma hiperfície tridimensional é uma variedade de dimensão 3.

Construção

Construindo variedades

Variedades com topologia globalmente diferente do espaço euclidiano podem ser construídas colando conjuntos de pontos.

A construção, no caso do toro, é bastante simples. O 1-toro, que é um círculo, é obtido através da colagem dos pontos inicial e final de um segmento. O 2-toro, que é um anel, é obtido por colagem de lados opostos de um quadrado preenchido. O 3-toro é obtido pela colagem das faces opostas de um cubo cheio.

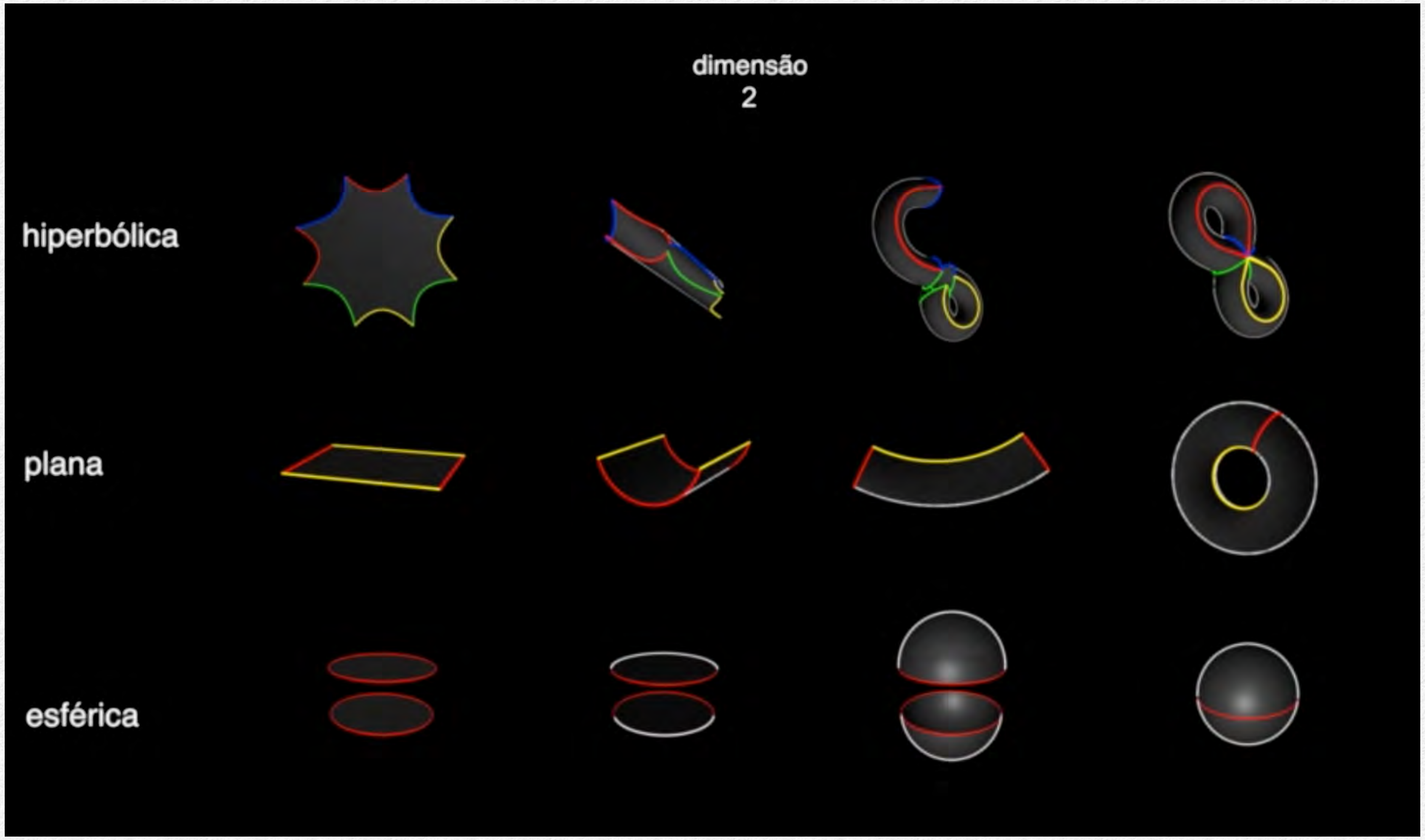
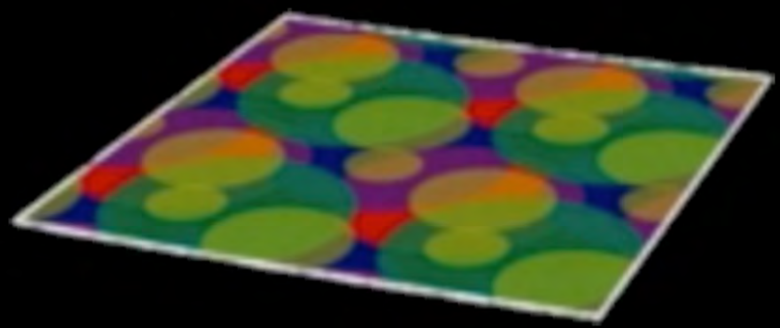


Figura 2.2 Construindo variedades. A imagem exemplifica a construção de variedades bidimensionais. A esfera, o toro e o bi-toro são construídos, respectivamente, nos espaços esférico, plano e hiperbólico.

Variedade de dimensão 2

Numa superficie fechada, a vizinhança de qualquer ponto forma um disco. Uma variedade de dimensão 2 é uma superficie.

1



2

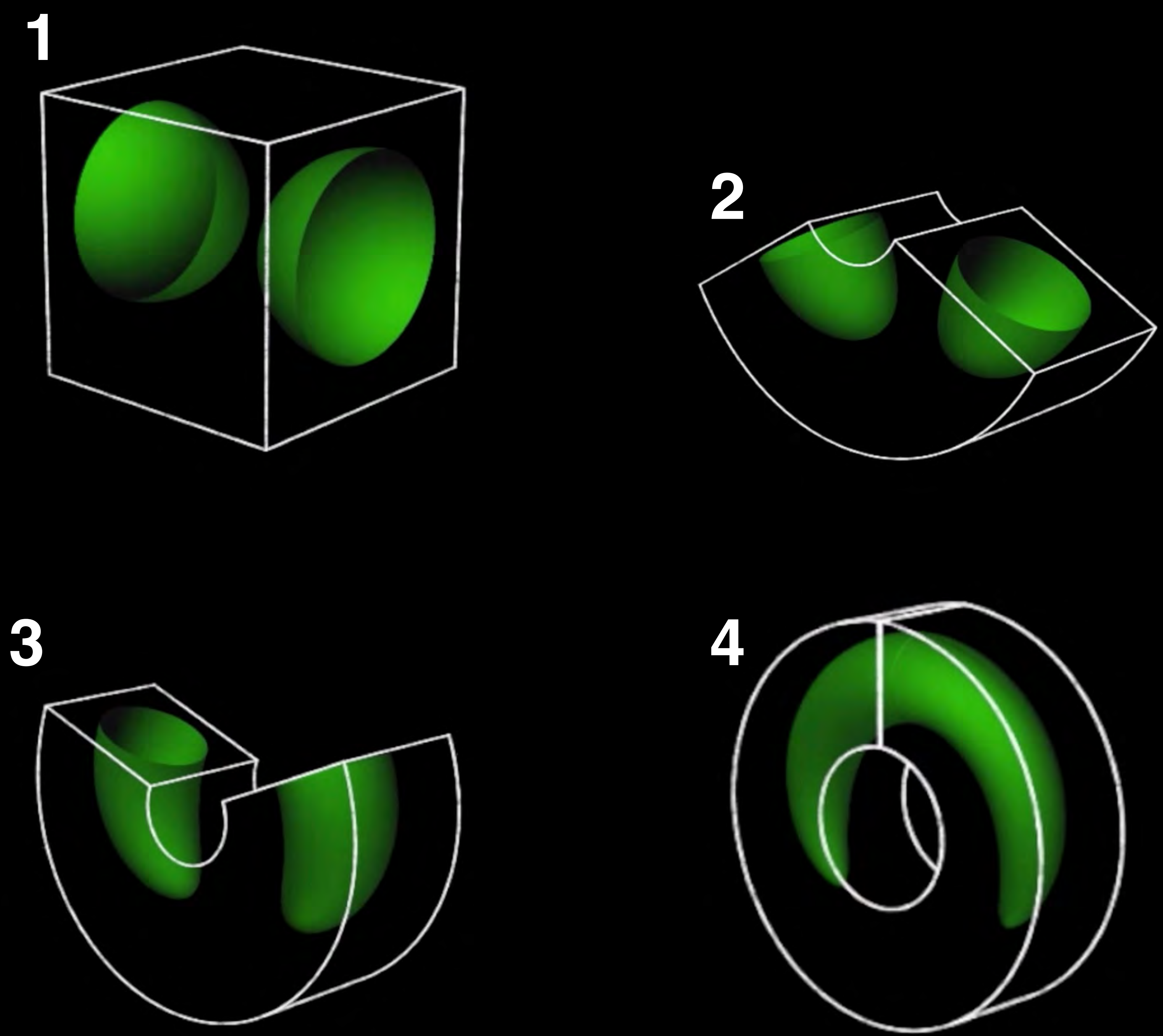
3

4

5

Variedade de dimensão 3

Uma variedade de dimensão 3 é um espaço fechado cujos pontos têm por vizinhança uma bola sólida.



CAPÍTULO 3

Variedades de duas dimensões

Este capítulo concentra-se na visualização das variedades de duas dimensões. Ilustramos a redução de uma variedade até seu domínio fundamental e mostramos como objetos movimentam-se em espaços topológicos de duas dimensões.

Variedades 2D

Visão exterior e interior

Na visão exterior de uma variedade bidimensional, mergulhada em um espaço de dimensão 3, um observador pode ver a superfície a partir de diferentes pontos de vista nesse espaço.

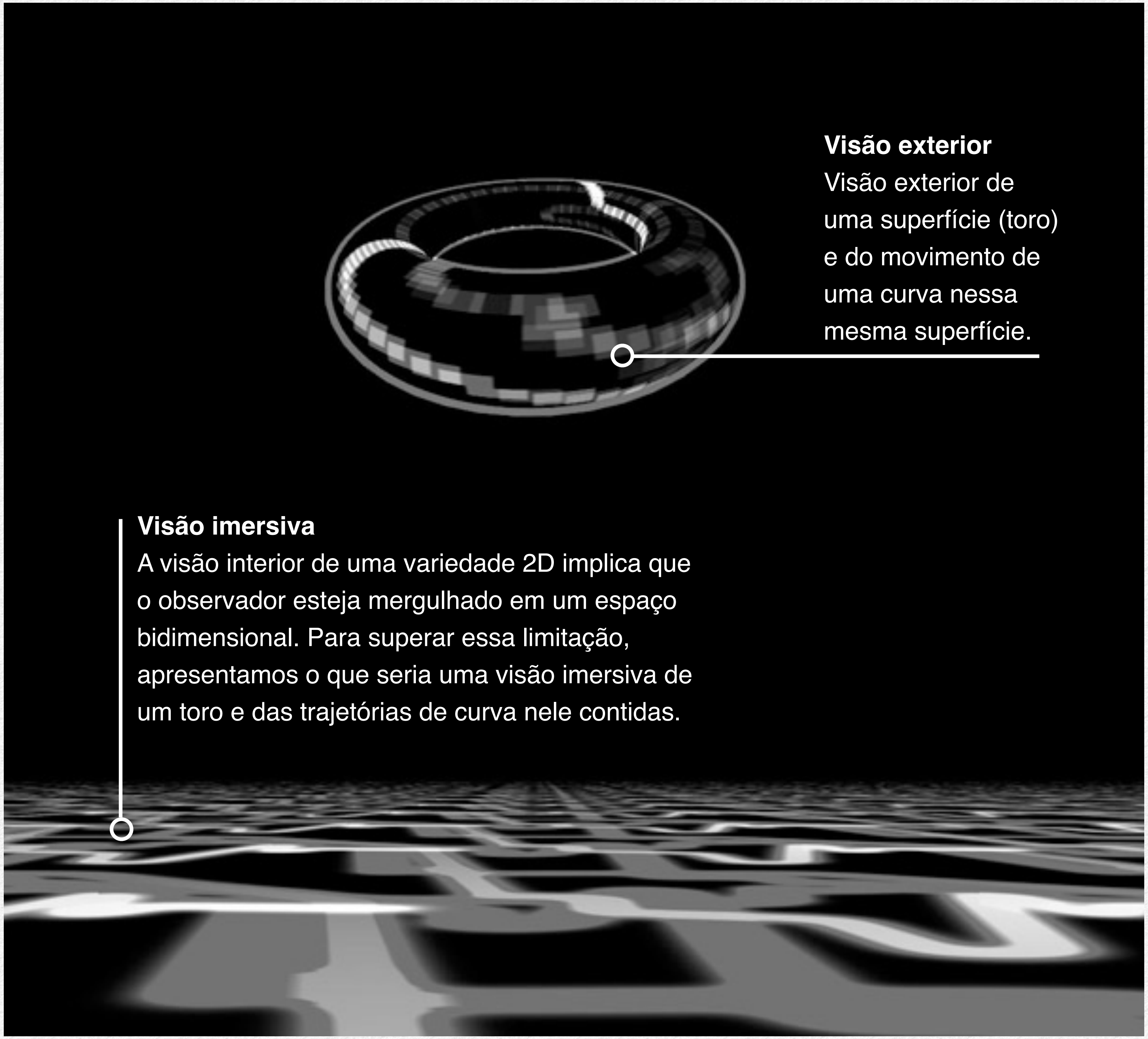
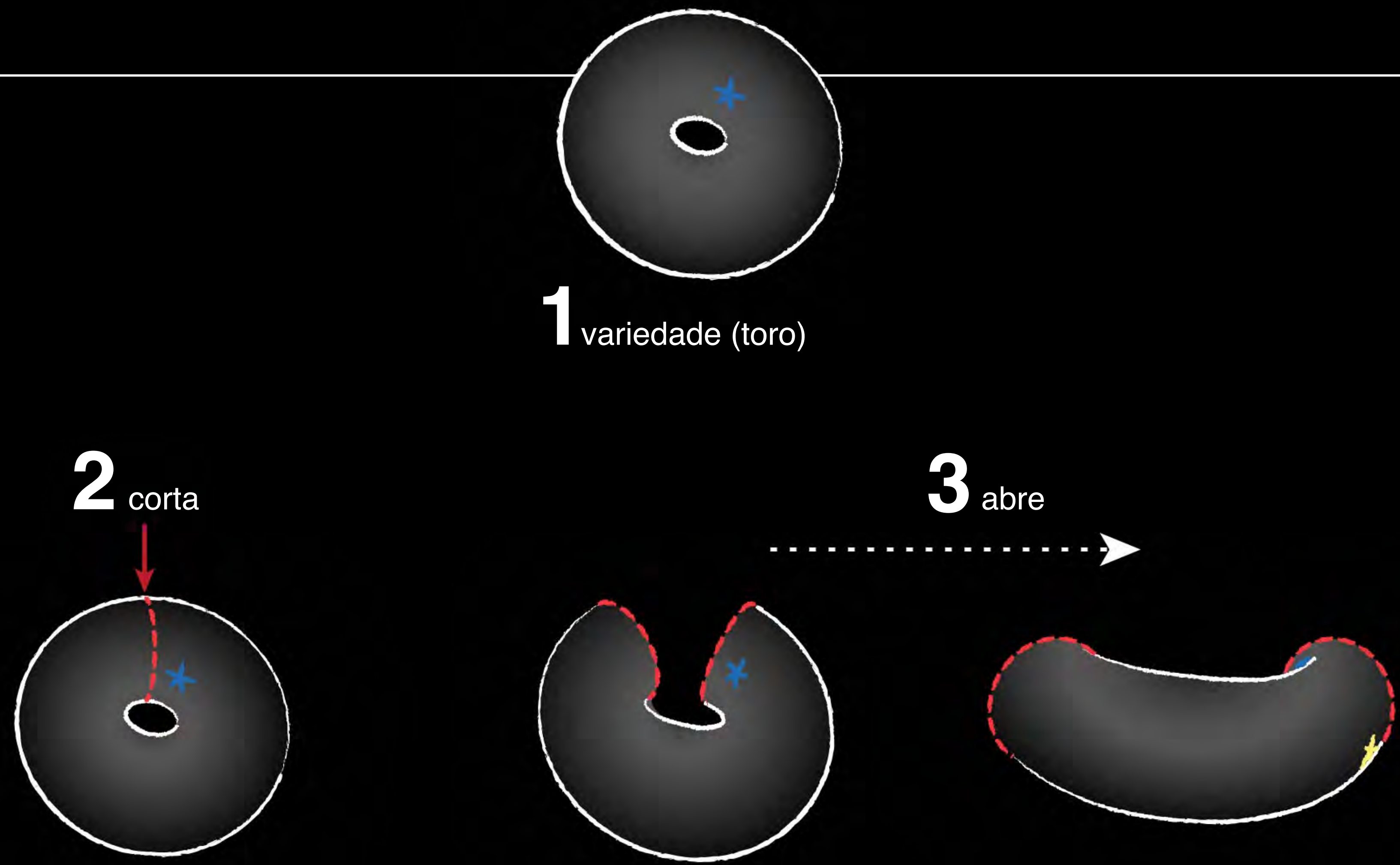
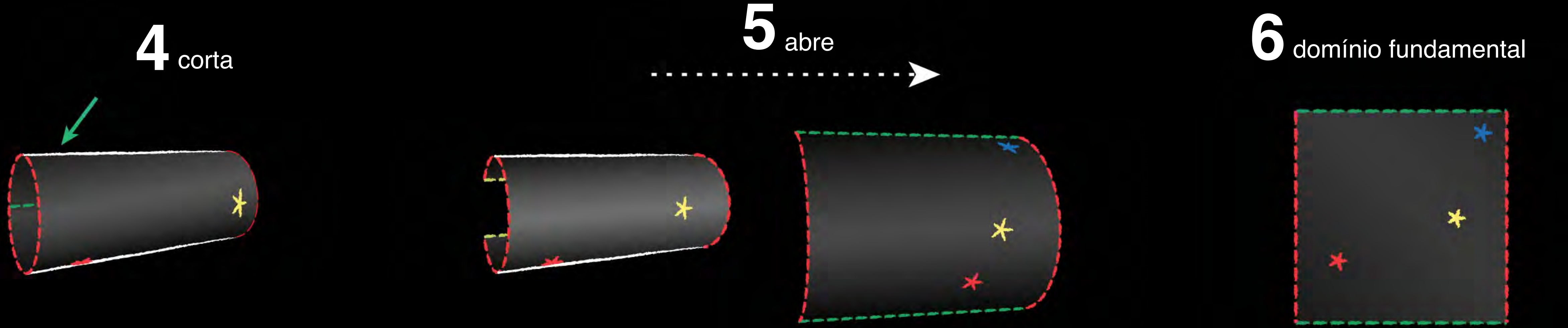


Figura 3.1 Visão exterior e imersiva de um toro e das trajetórias de curva.

Da variedade ao domínio fundamental

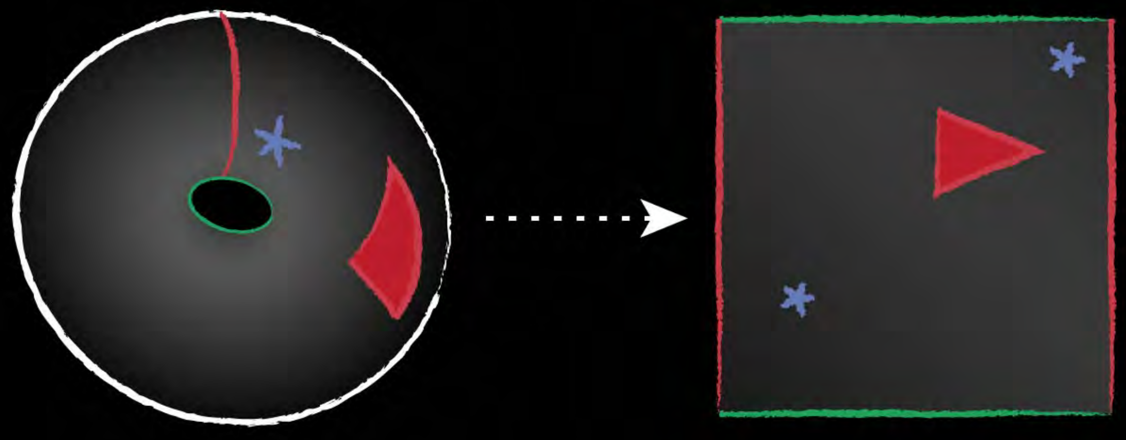
A sequência de imagens nesta página apresenta como uma variedade de duas dimensões pode ser “reduzida” até chegar ao seu domínio fundamental, que é um retângulo.



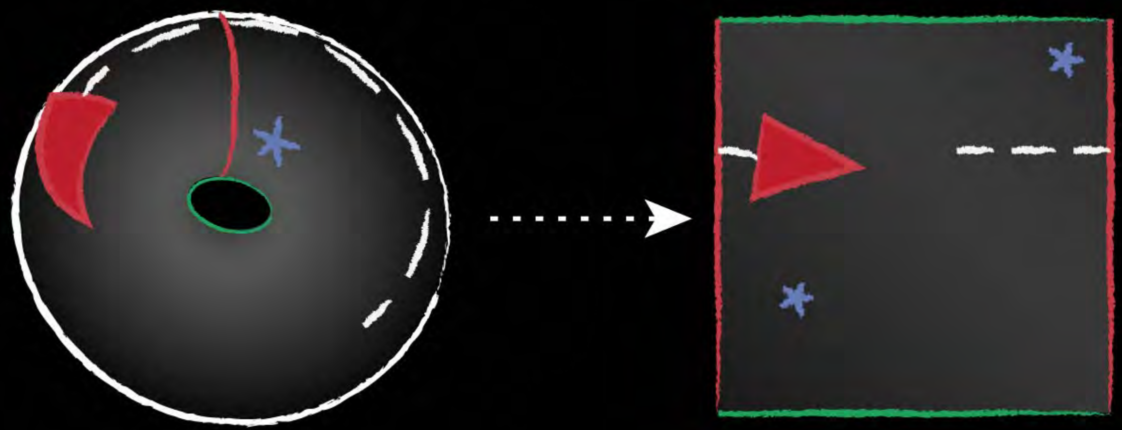


Movimento de um objeto

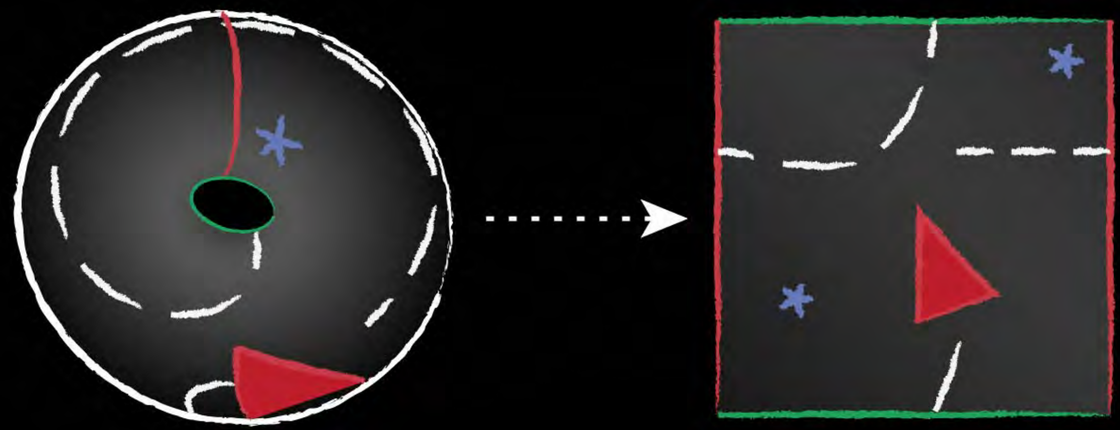
As imagens nesta página ilustram o movimento de um objeto na variedade. Os objetos se deslocam na superfície do toro e tem deslocamento correspondente no domínio fundamental.



Toro   Domínio fundamental



Toro   Domínio fundamental



Toro   Domínio fundamental

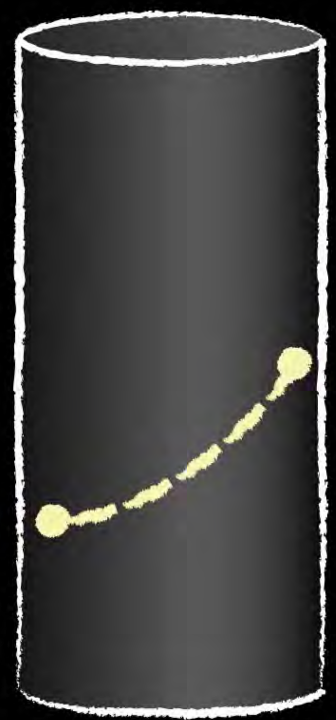
Geodésica

Uma geodésica é o caminho mais curto entre dois pontos. Intuitivamente, corresponde a um segmento de "reta" intrínseca na variedade.

Um raio de luz toma uma trajetória chamada geodésica, o caminho mais curto entre dois pontos.

A sequência de imagens visualiza a trajetória de uma geodésica respectivamente no plano, no cilindro e no toro.

Quadrado

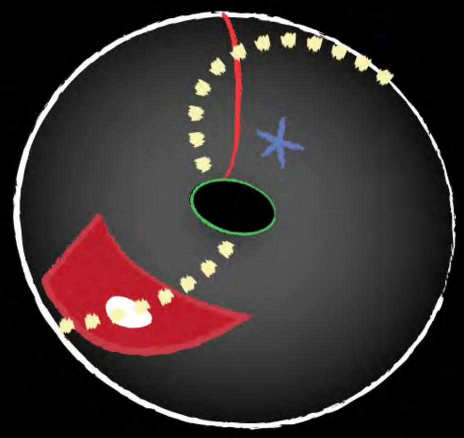


Cilindro

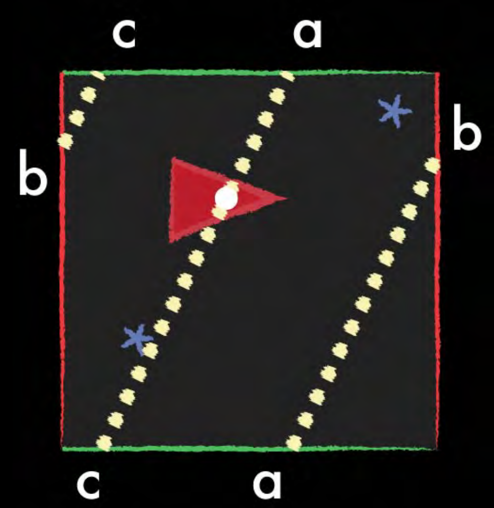
Toro

Trajetória de um raio de luz

Um raio de luz segue a trajetória de uma curva geodésica na variedade, pois a luz se propaga seguindo o caminho mais curto.

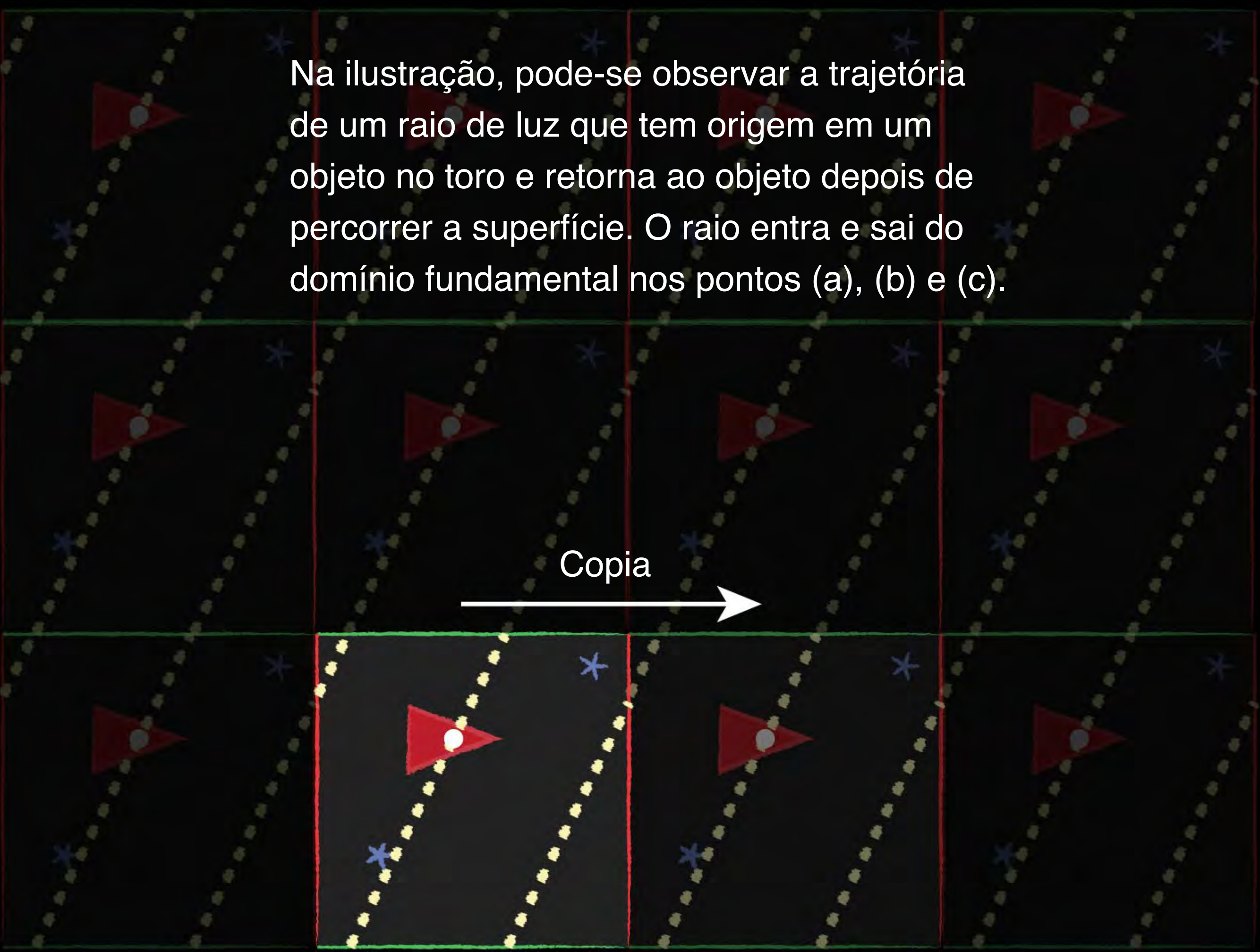


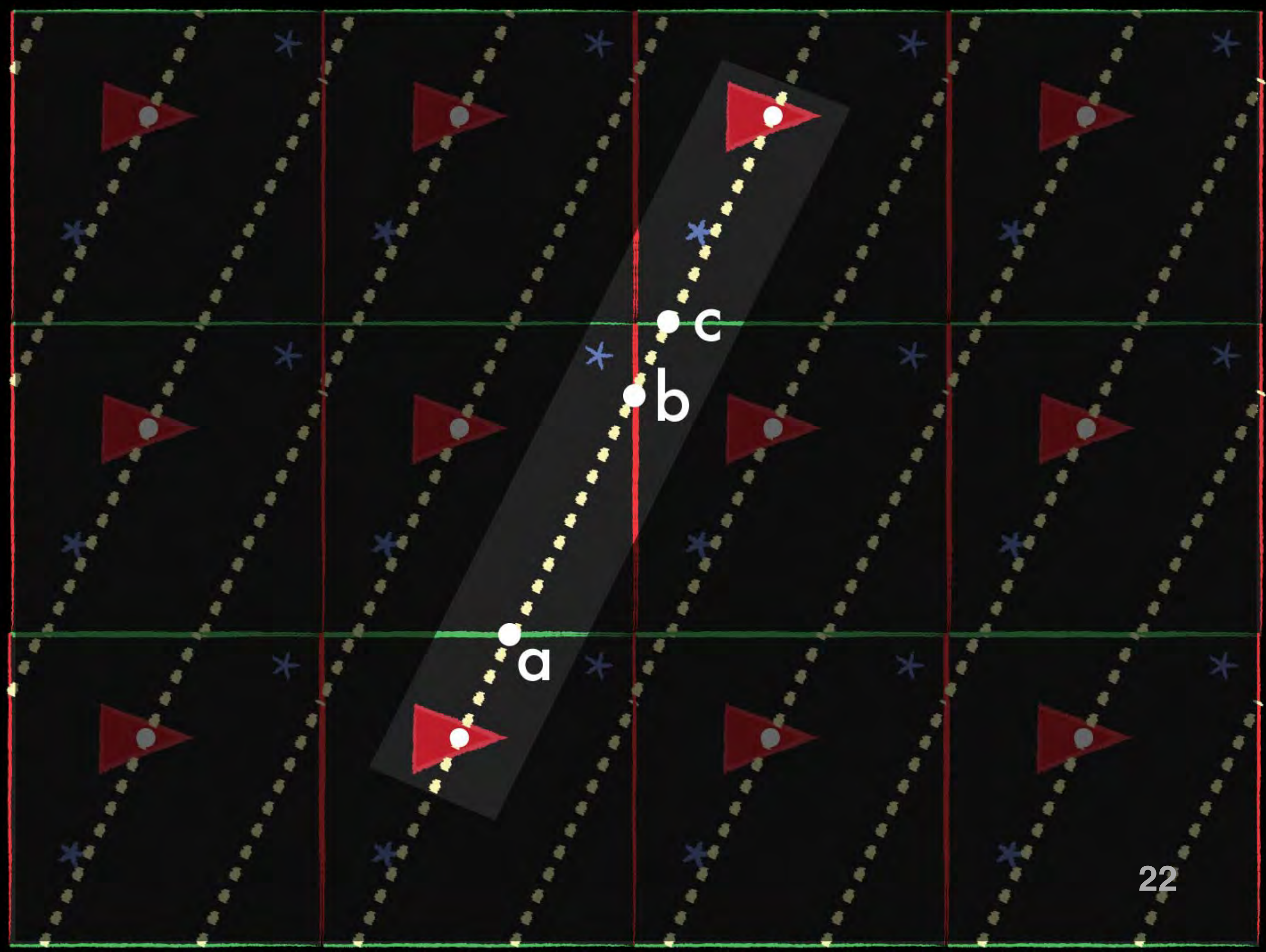
Variedade (toro)



Domínio fundamental

Na ilustração, pode-se observar a trajetória de um raio de luz que tem origem em um objeto no toro e retorna ao objeto depois de percorrer a superfície. O raio entra e sai do domínio fundamental nos pontos (a), (b) e (c).





Visualização interativa 2D

A exposição “Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3” tem instalações para visualização interativa das variedades. Seu objetivo é permitir uma investigação intuitiva das variedades de dimensão 2 e 3. A primeira instalação mostra a relação entre a geometria da superfície e a visão de um ponto de vista exterior. Trata-se de uma projeção com as três superfícies básicas: a esfera, o toro e o bi-toro (com dois furos).

O visitante escolhe entre uma delas para realizar a interação. Na instalação, uma partícula é desenhada na superfície escolhida e simultaneamente numa visão imersiva do ponto de vista do observador.

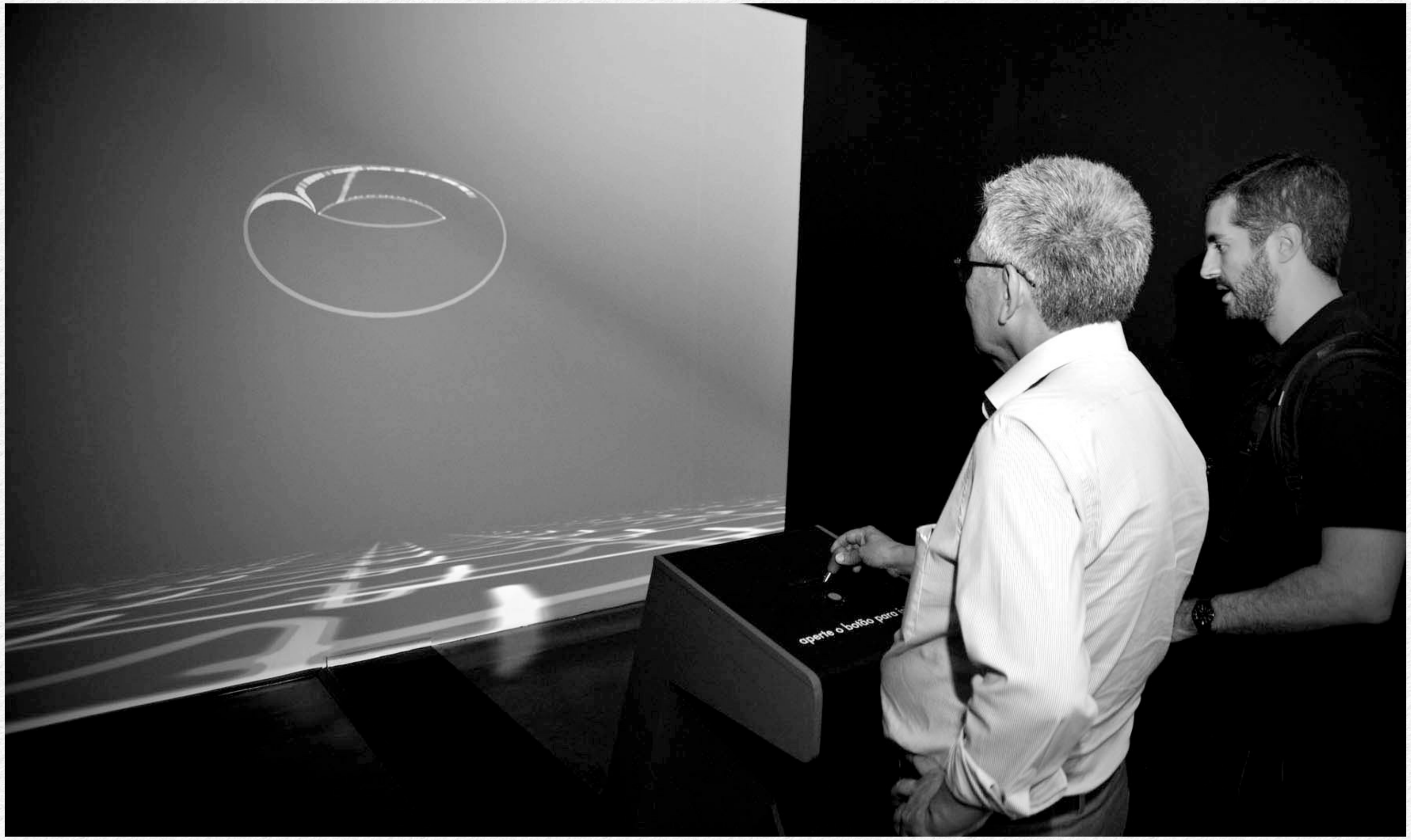


Figura 3.2 Instalação 2D: numa mesa interativa, encontra-se um controle. Se a posição do controle é deslocada para a direita ou para esquerda, a partícula se move nessa “direção” na superfície.

A instalação 2D

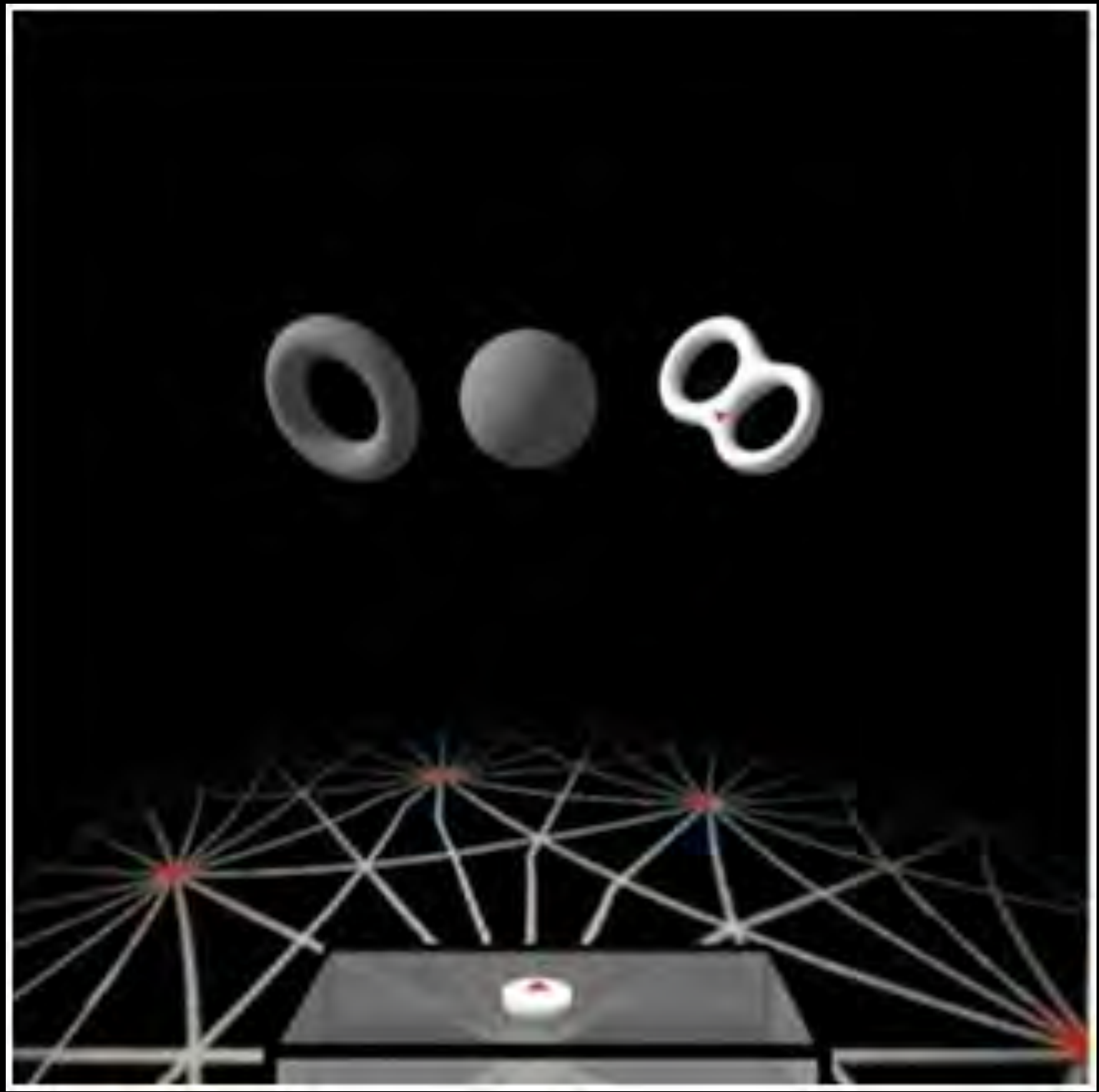
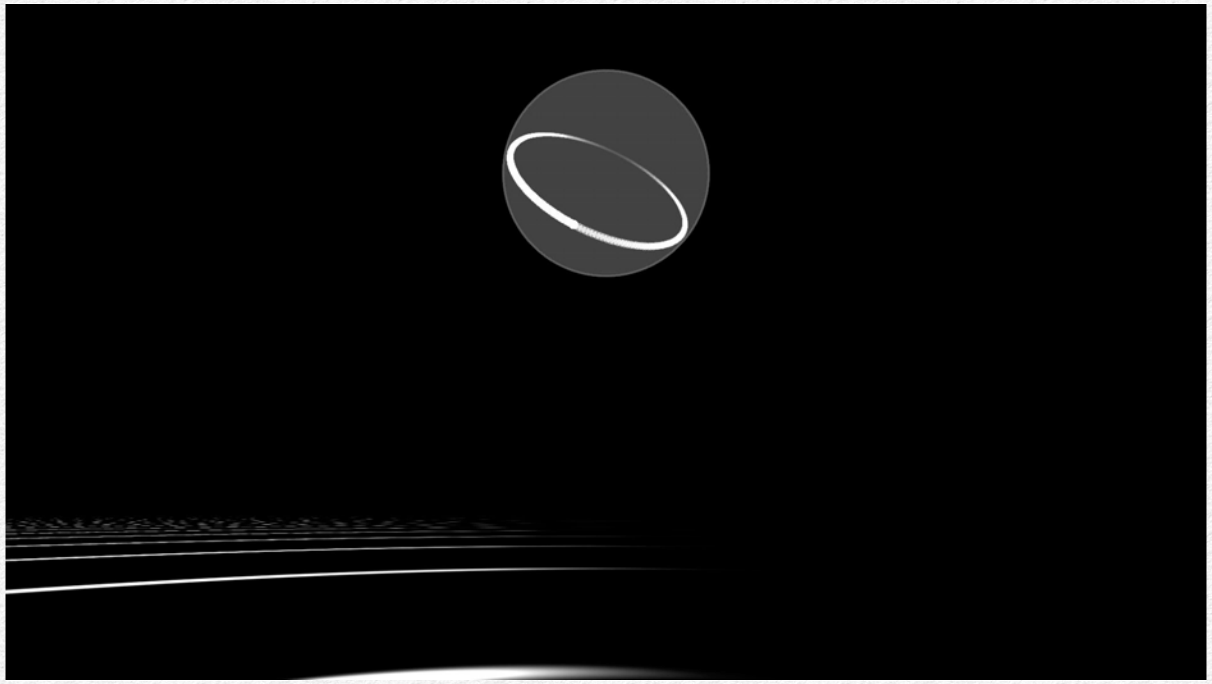
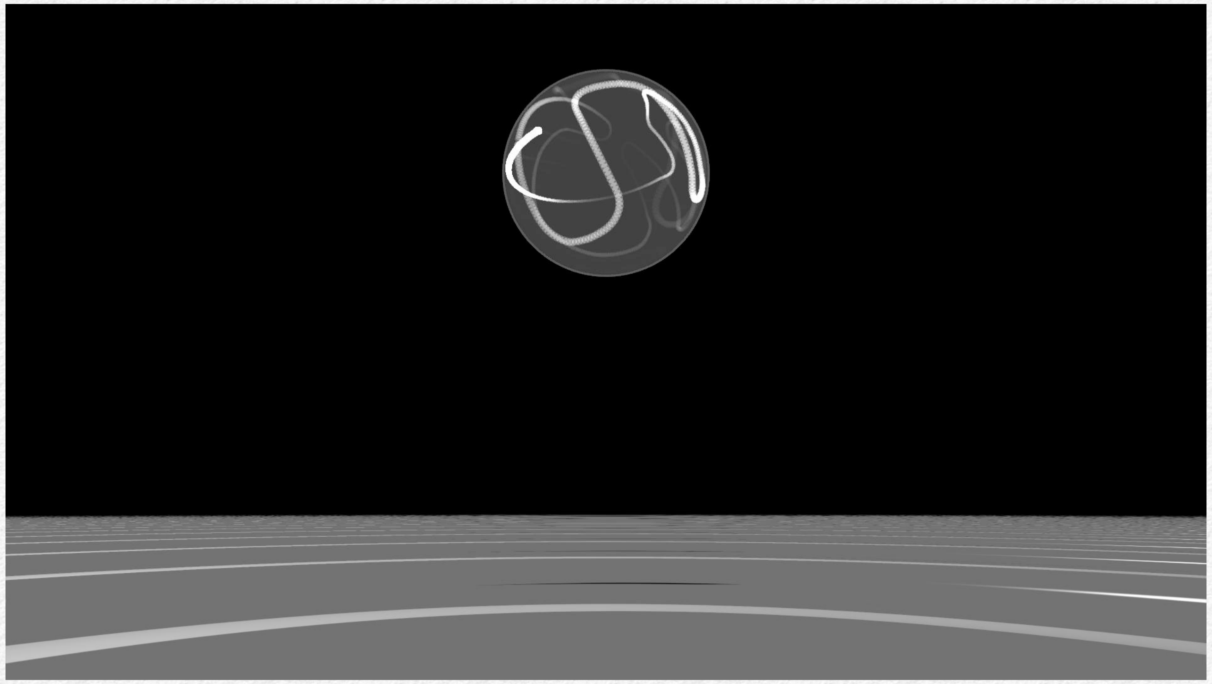


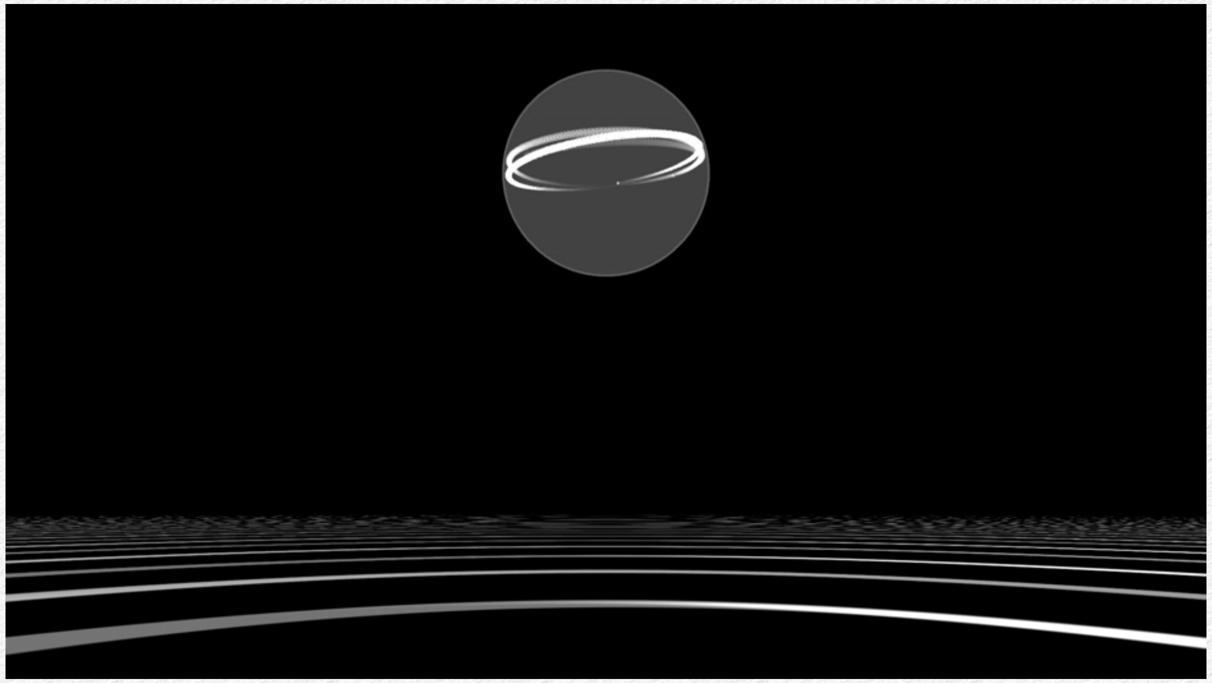
Figura 3.3 Como consequência da interação do visitante, o programa traça um segmento de curva. Dessa forma, pode-se desenhar curvas sobre a superfície escolhida. Depois de um tempo, a parte inicial da curva desaparece, como se tivesse sido produzida por um rastro de uma partícula com baixa persistência.

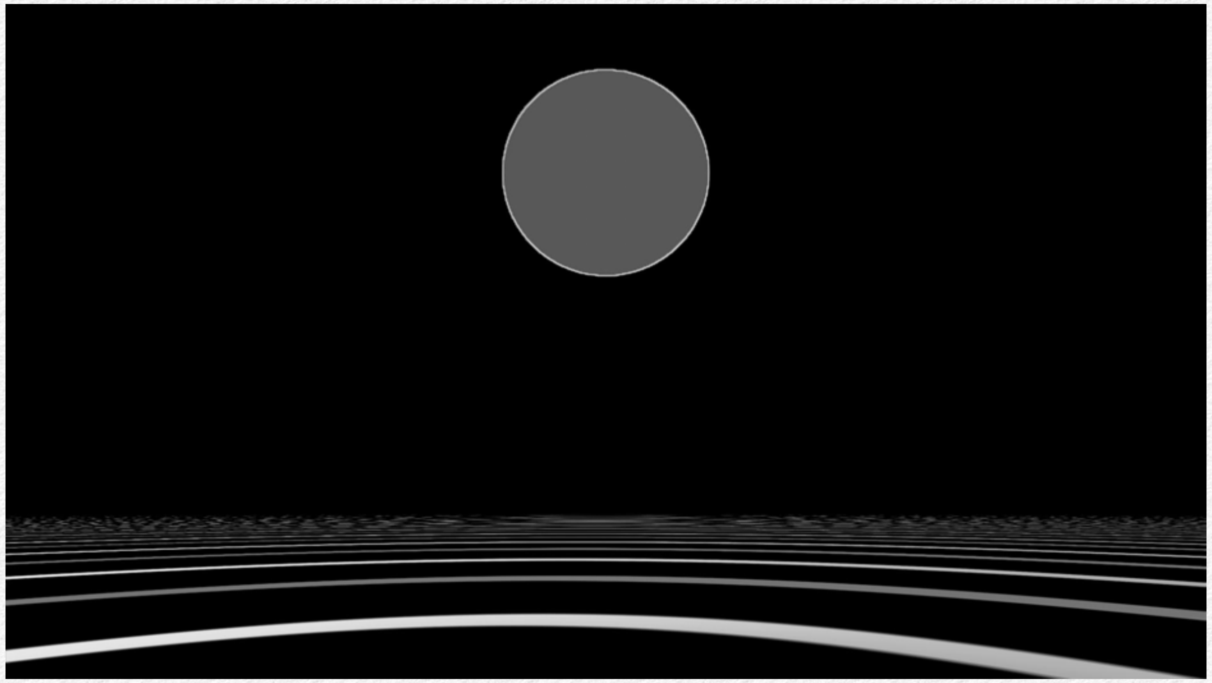
Galeria 2D - espaço esférico

Imagens da **esfera** criadas pelos visitantes da exposição através da instalação 2D.



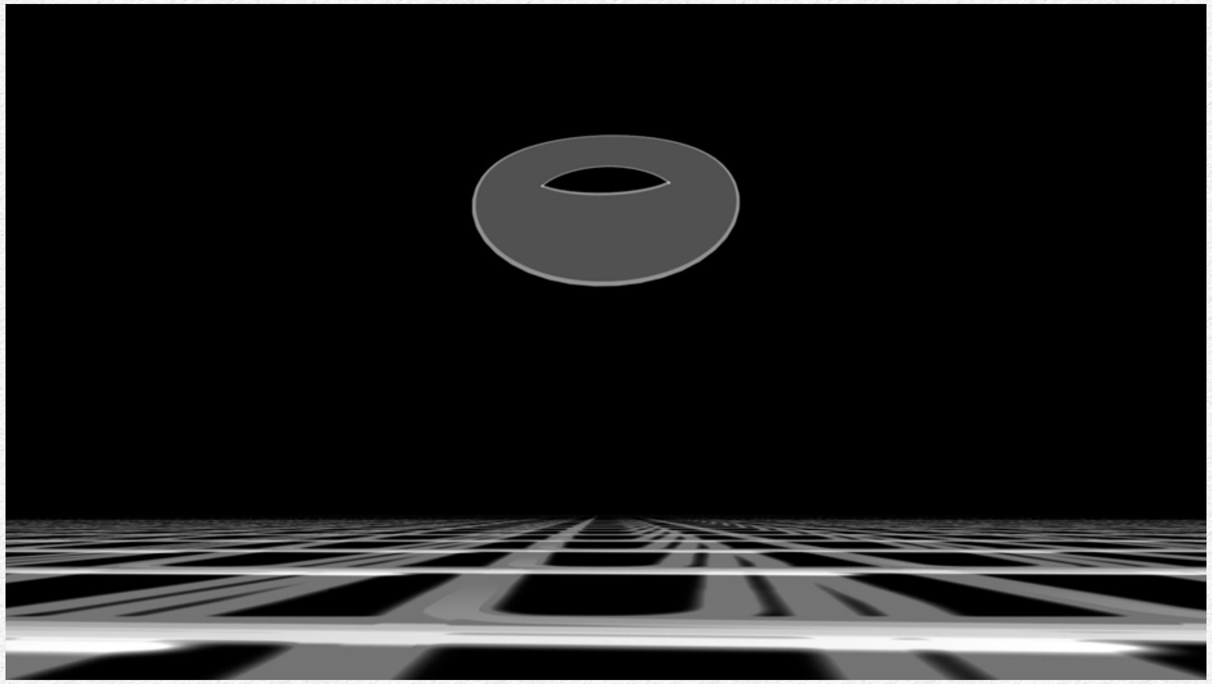


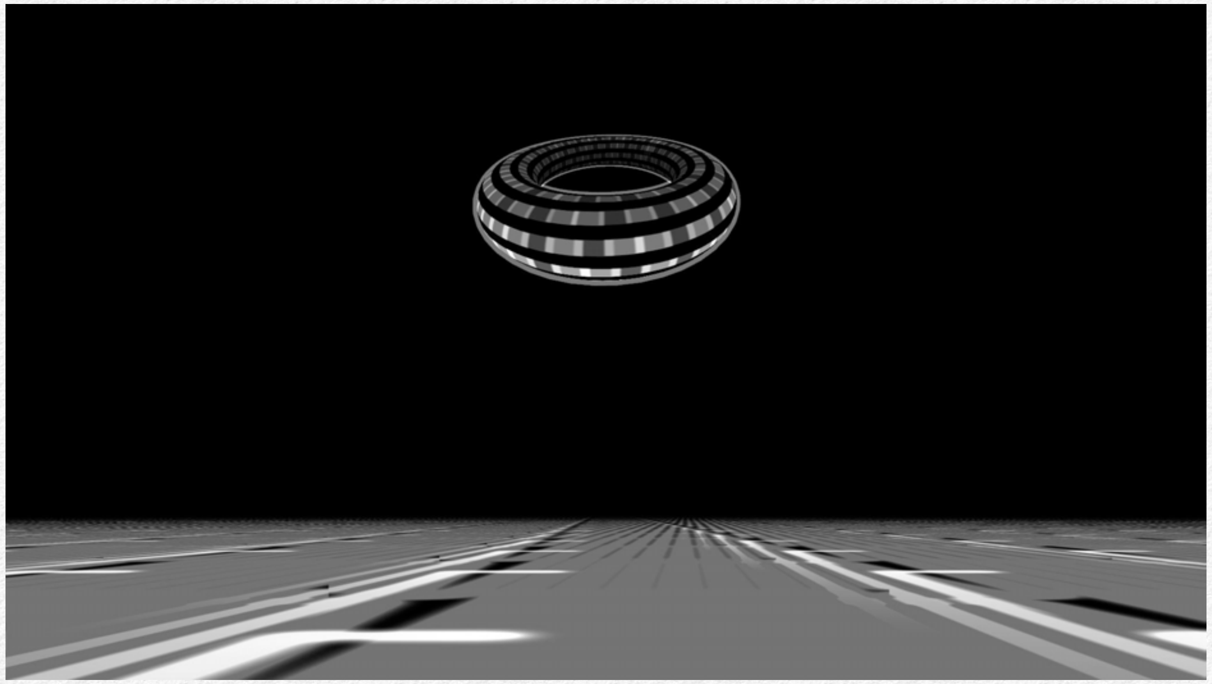


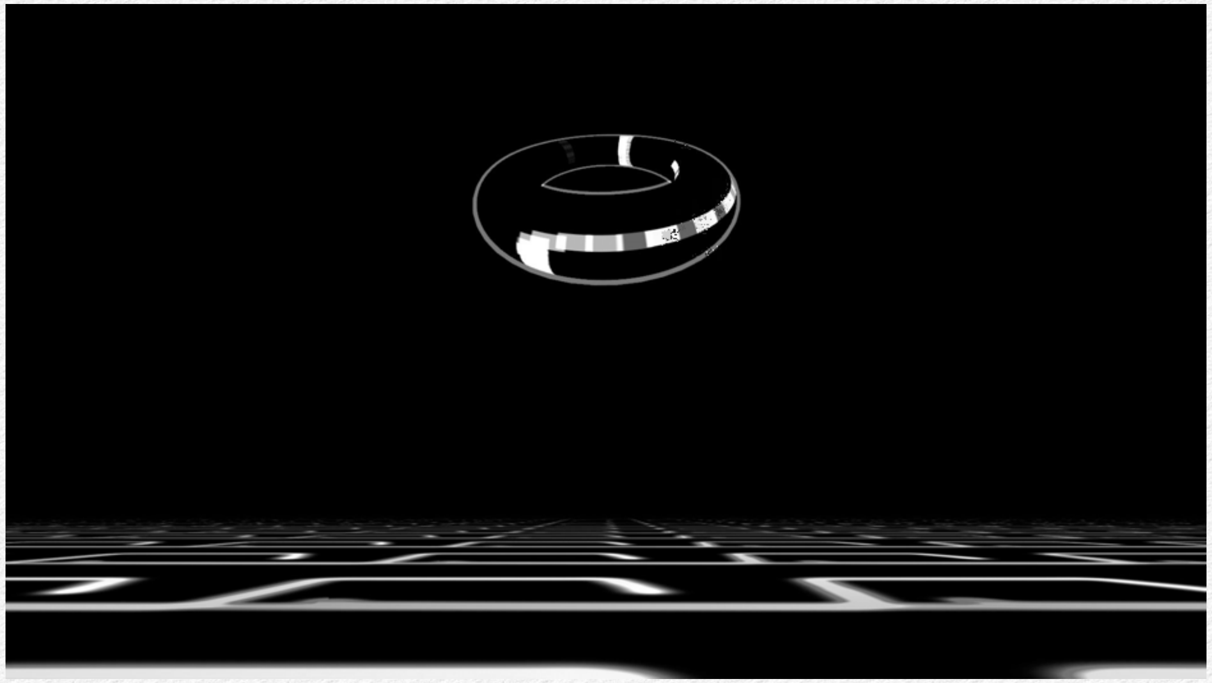


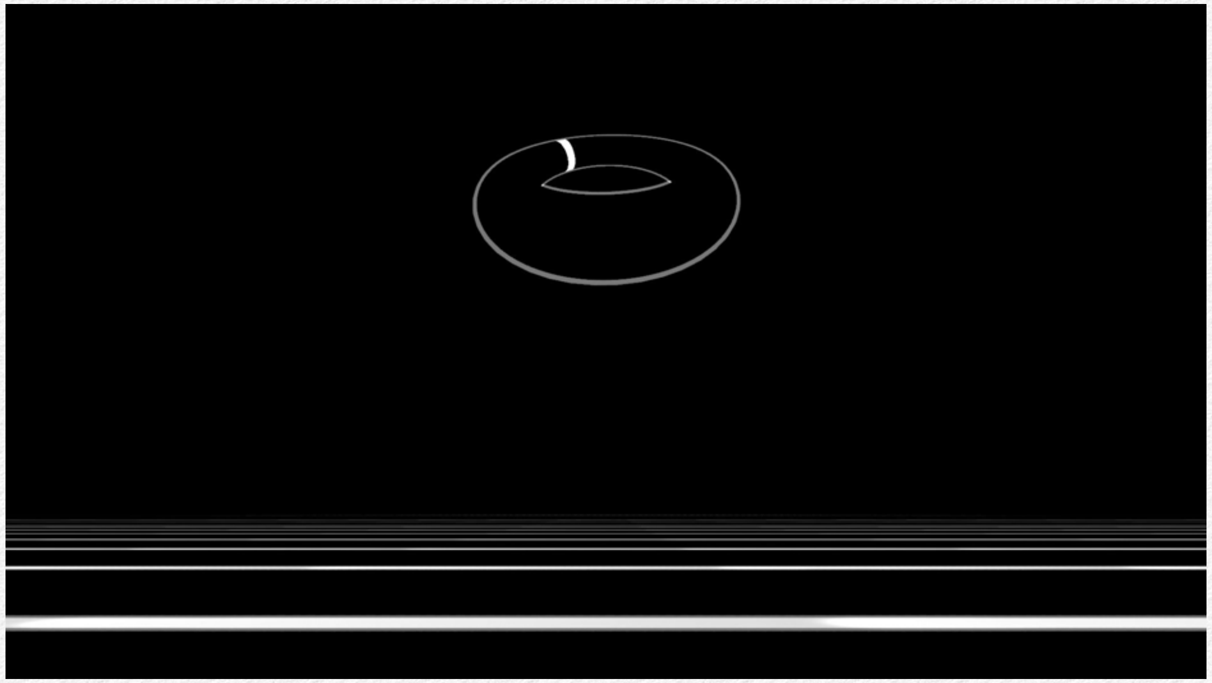
Galeria 2D - espaço euclidiano

Imagens do **toro** criadas pelos visitantes da exposição através da instalação 2D.



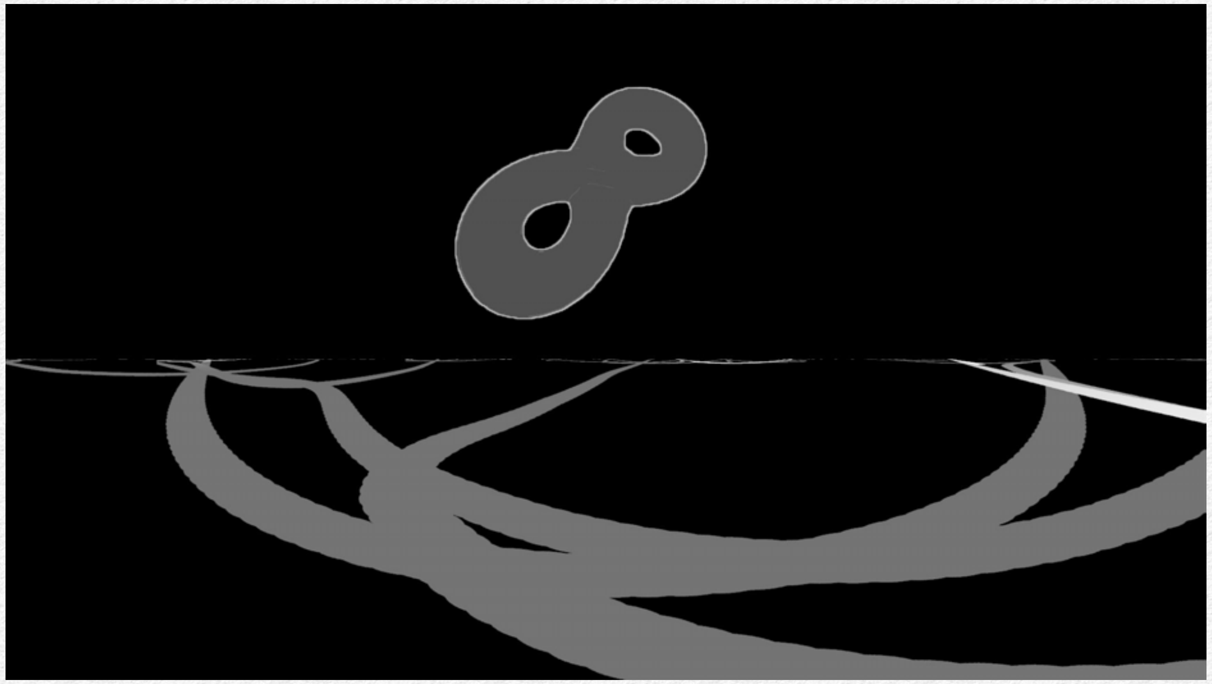


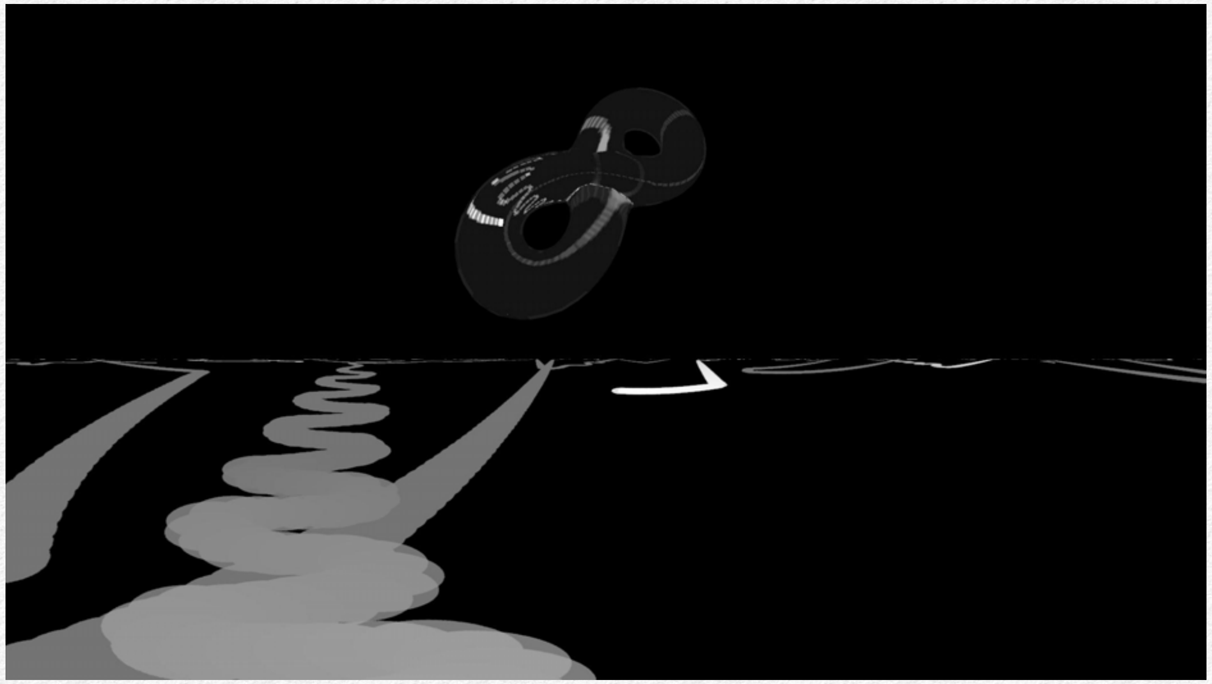


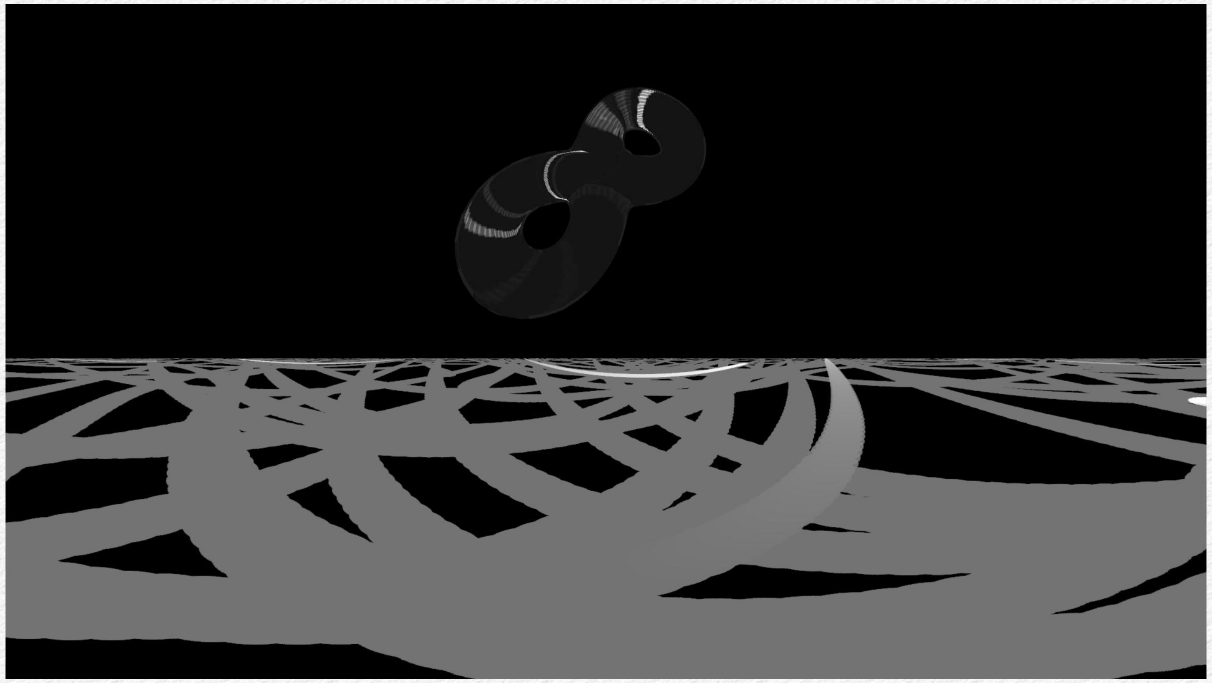


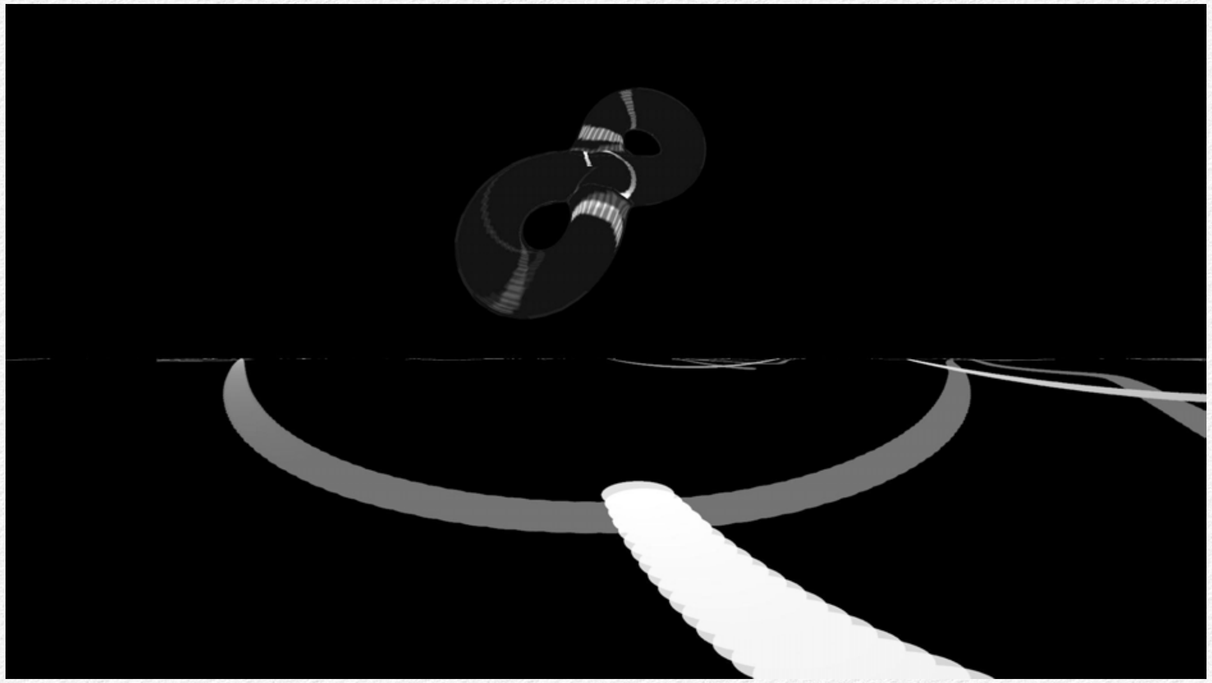
Galeria 2D - espaço hiperbólico

Imagens do **bi-toro** criadas pelos visitantes da exposição através da instalação 2D.









CAPÍTULO 4

Variedades de três dimensões

Este capítulo investiga a visualização das variedades tridimensionais. Mostramos como a luz se propaga dentro de uma variedade e apresentamos a visão interior do panorama formado pelo rastro de partículas que se movimentam no espaço.

Variedades 3D

Visão exterior e interior

Na visão interior de uma variedade de três dimensões, a curva formada pela trajetória de uma partícula é repetida em outras direções e distâncias.
A visão exterior de uma variedade de três dimensões não pode ser representada pois seria necessário que o observador estivesse em uma quarta dimensão.

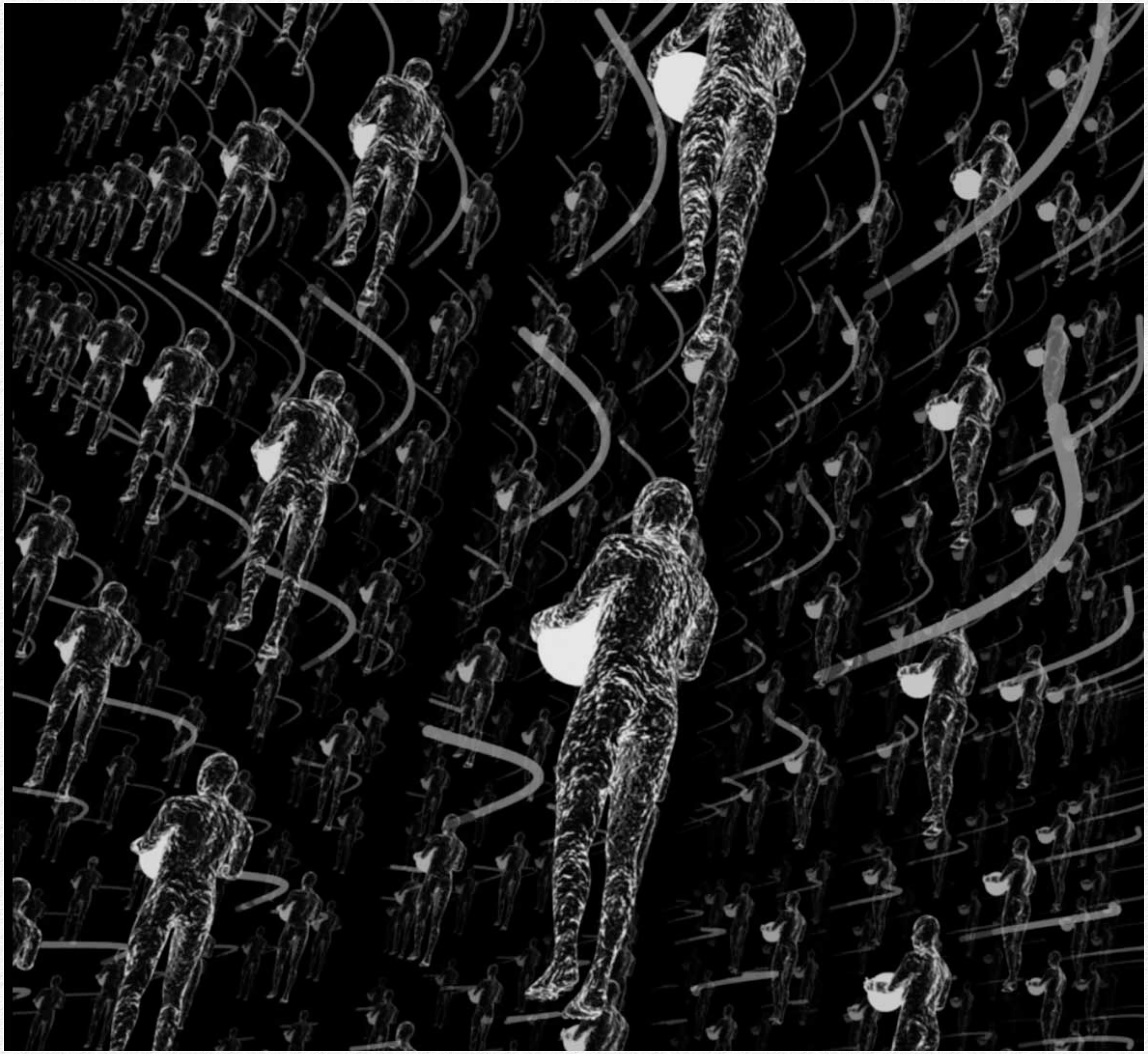


Figura 4.1 Visão interior de uma variedade de três dimensões.

Variedade de dimensão 3

Figura 4.2 Visualização do rastro da trajetória de uma partícula no interior do toro de dimensão 3. A janela no canto inferior esquerdo mostra o mesmo movimento no domínio fundamental.

Pseudo-Variedade de dimensão 3

Figura 4.3 Visualização do rastro da trajetória de uma partícula no interior de um cubo formado por seis espelhos. A janela no canto inferior esquerdo mostra o mesmo movimento no domínio fundamental.

Visualização interativa 3D

A segunda instalação da exposição “Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3” simula a visualização no interior de uma variedade tridimensional.
Da mesma forma que na instalação 2D, o visitante inicia a interação escolhendo entre uma das variedades: plana, esférica ou hiperbólica.

O controle de interação é sustentado por uma corda elástica no meio da sala. Tal como no caso de dimensão 2, existem muitos feixes de luz que começam e terminam em uma mesma partícula. Assim, o visitante, ao controlar a trajetória da partícula, vê a mesma curva repetida em várias direções e distâncias. Como antes, as curvas são desenhadas em função da posição da partícula.

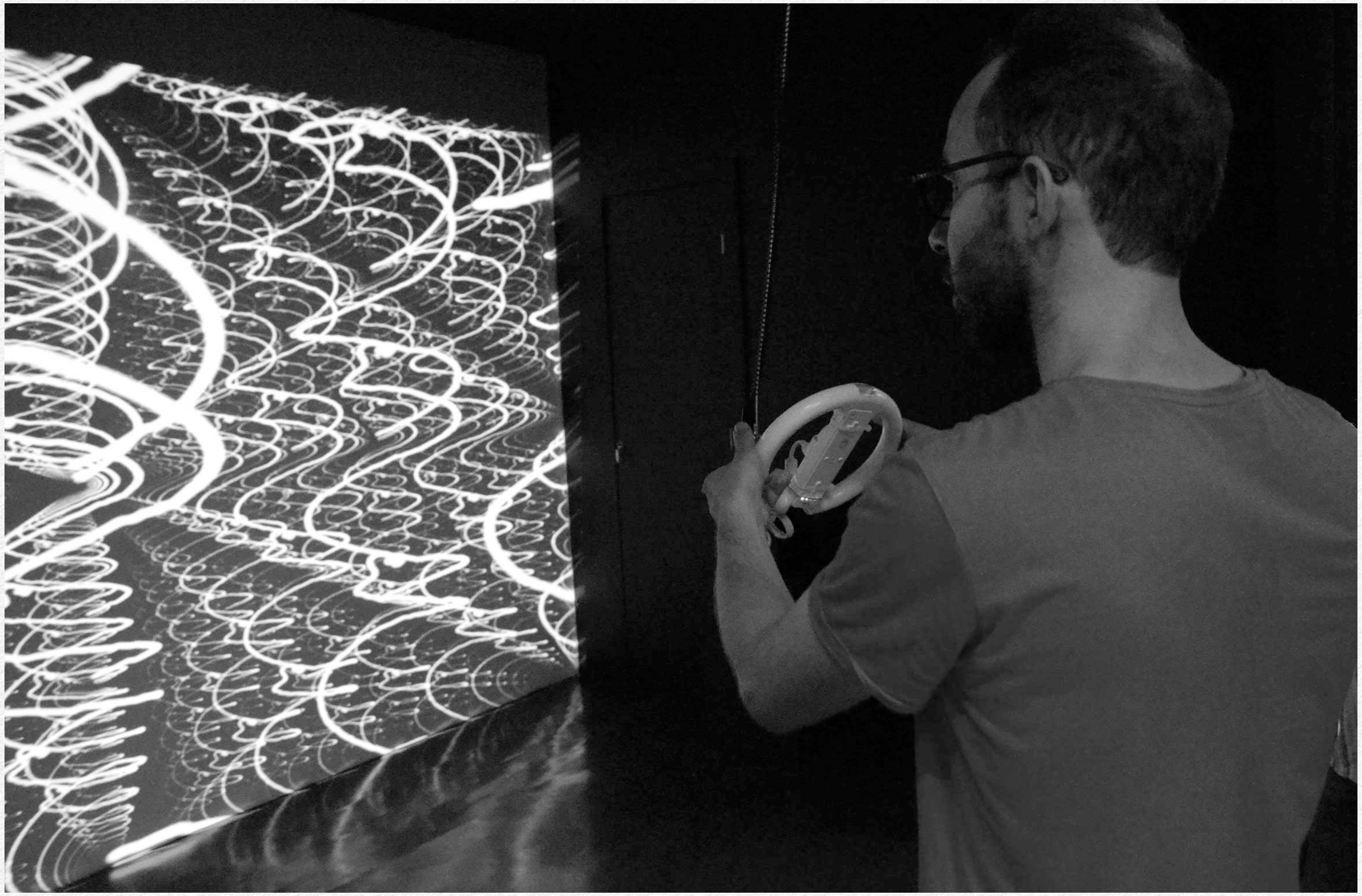


Figura 4.4 Instalação 3D: consiste em um espaço aberto com um controle e uma tela de projeção.

A instalação 3D

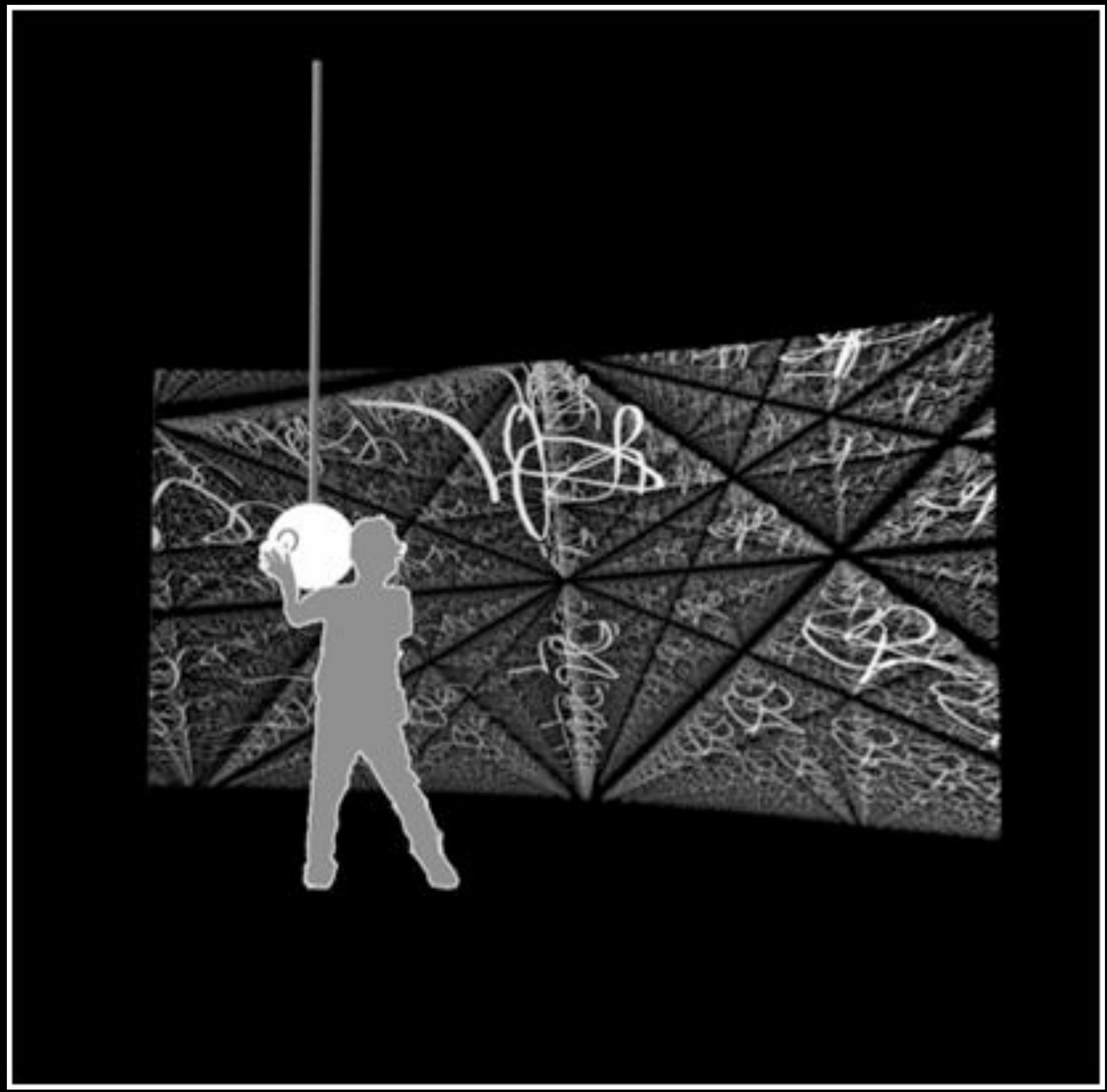
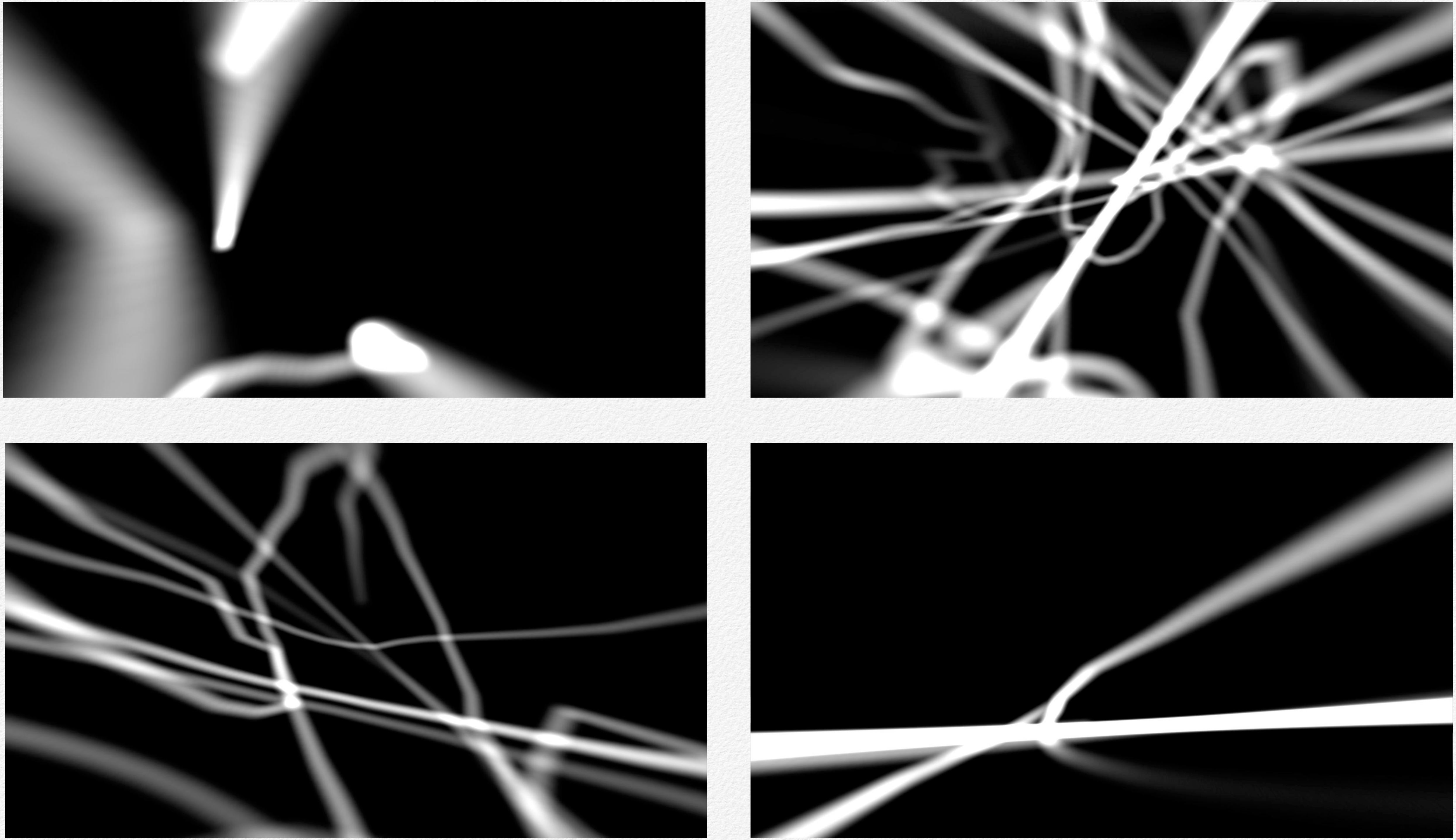


Figura 4.5 A instalação permite desenhar uma curva em três espaços diferentes: esférico, plano e hiperbólico, respectivamente. Existe somente uma curva representada, mas ela é mostrada diversas vezes pelo fato que a luz dá volta nesses espaços.

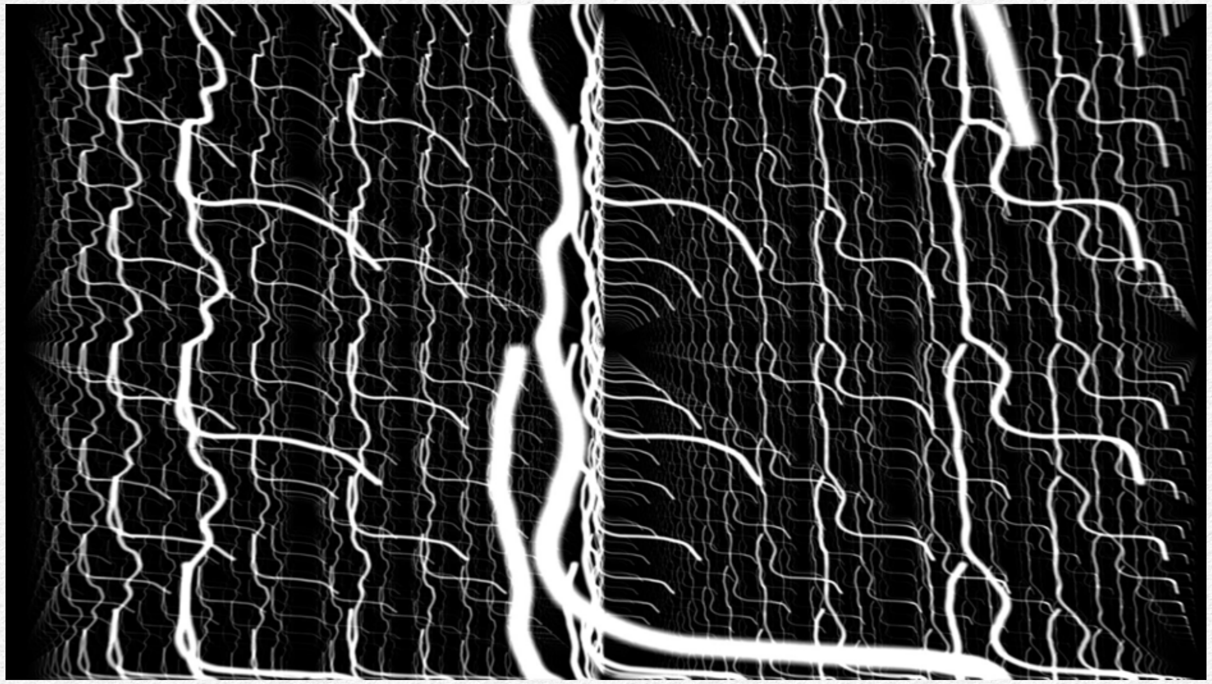
Galeria 3D - espaço esférico

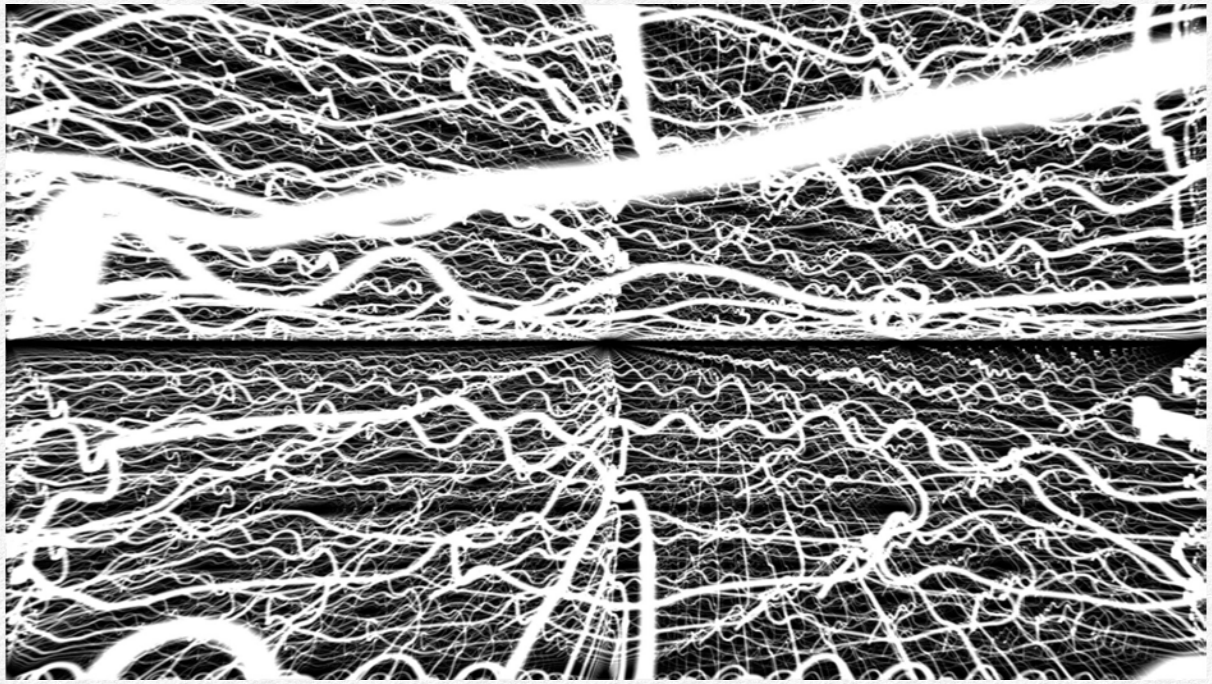
Imagens do movimento de uma partícula na variedade **esférica** criadas pelos visitantes da exposição através da instalação 3D.

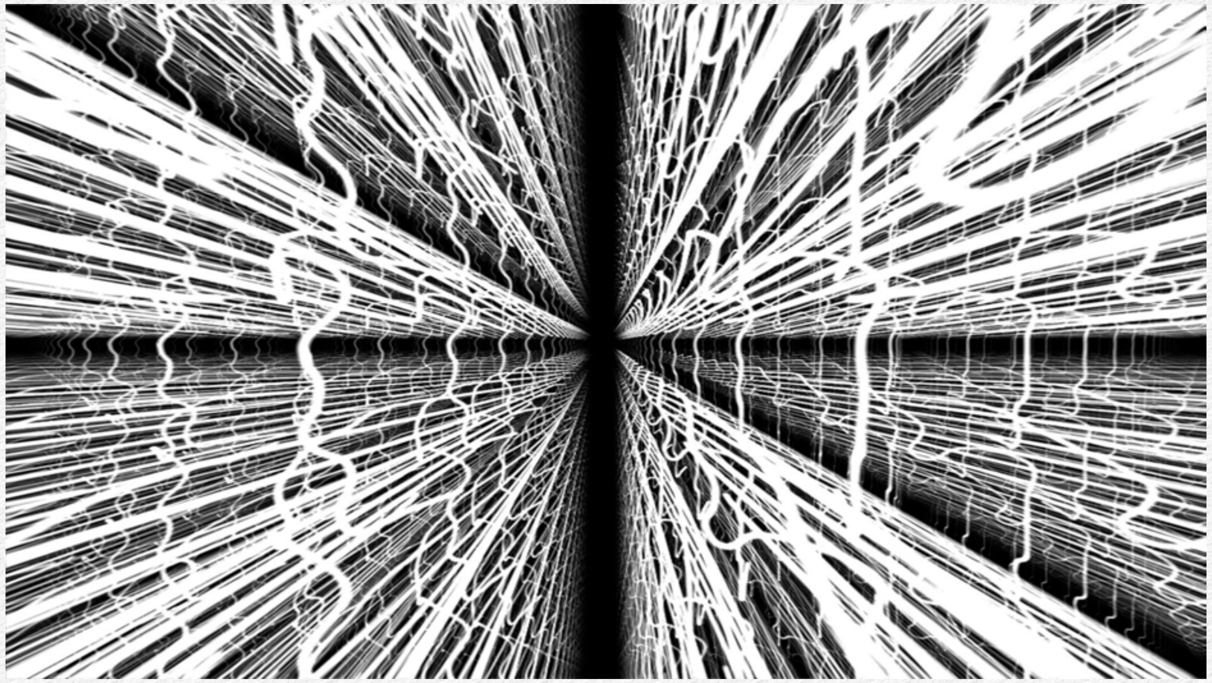


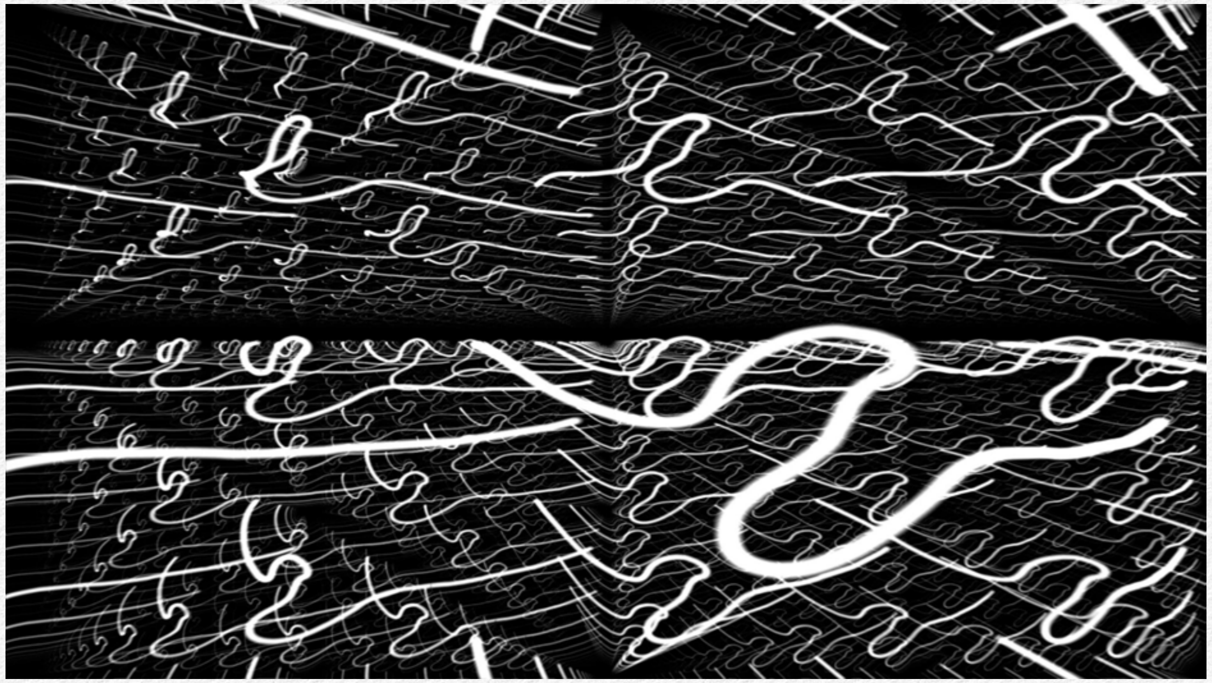
Galeria 3D - espaço euclidiano

Imagens do movimento de uma partícula na variedade **plana** criadas pelos visitantes da exposição através da instalação 3D.



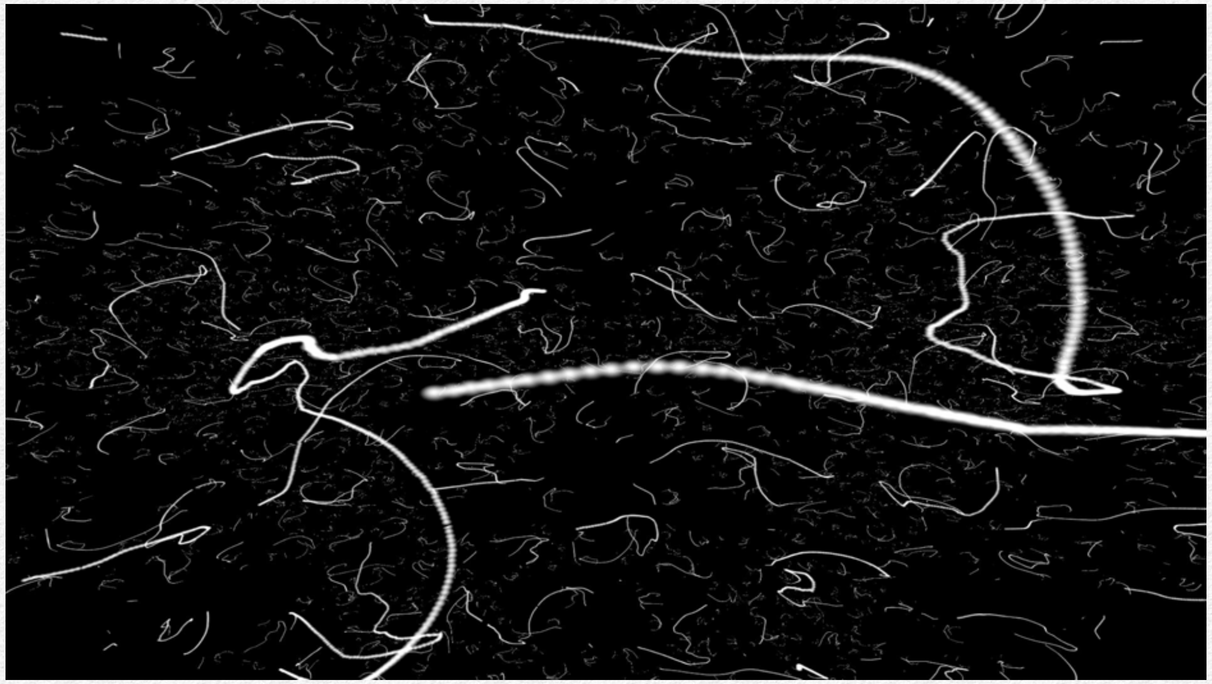


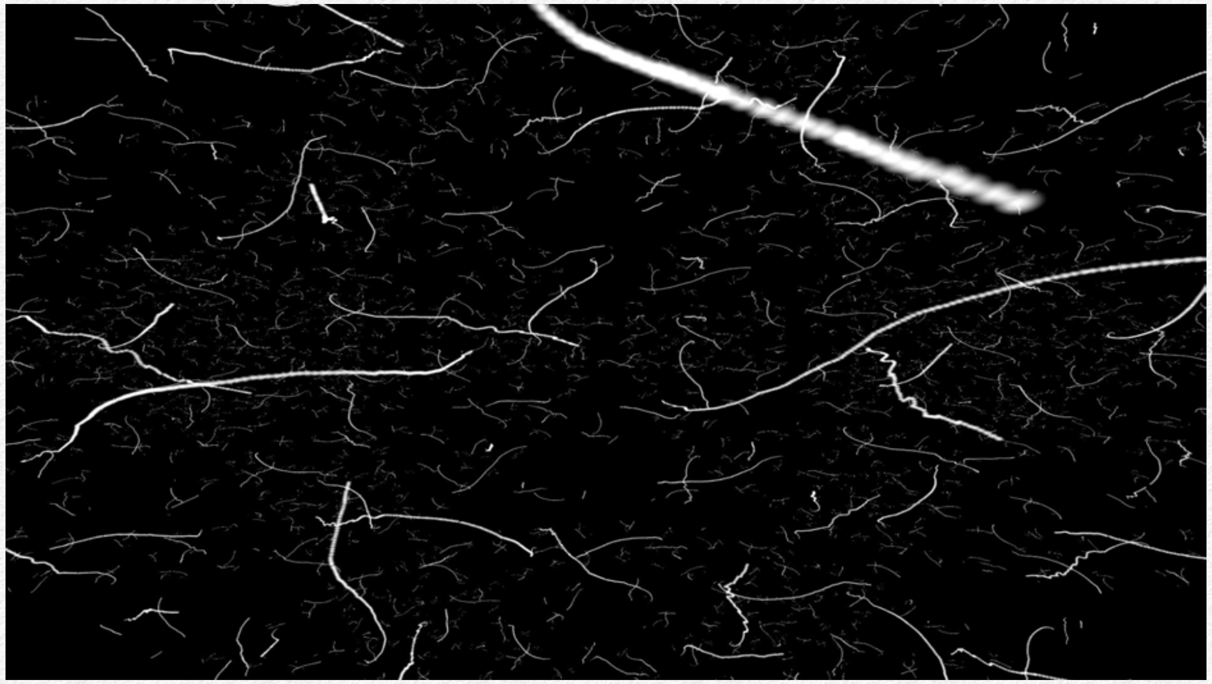


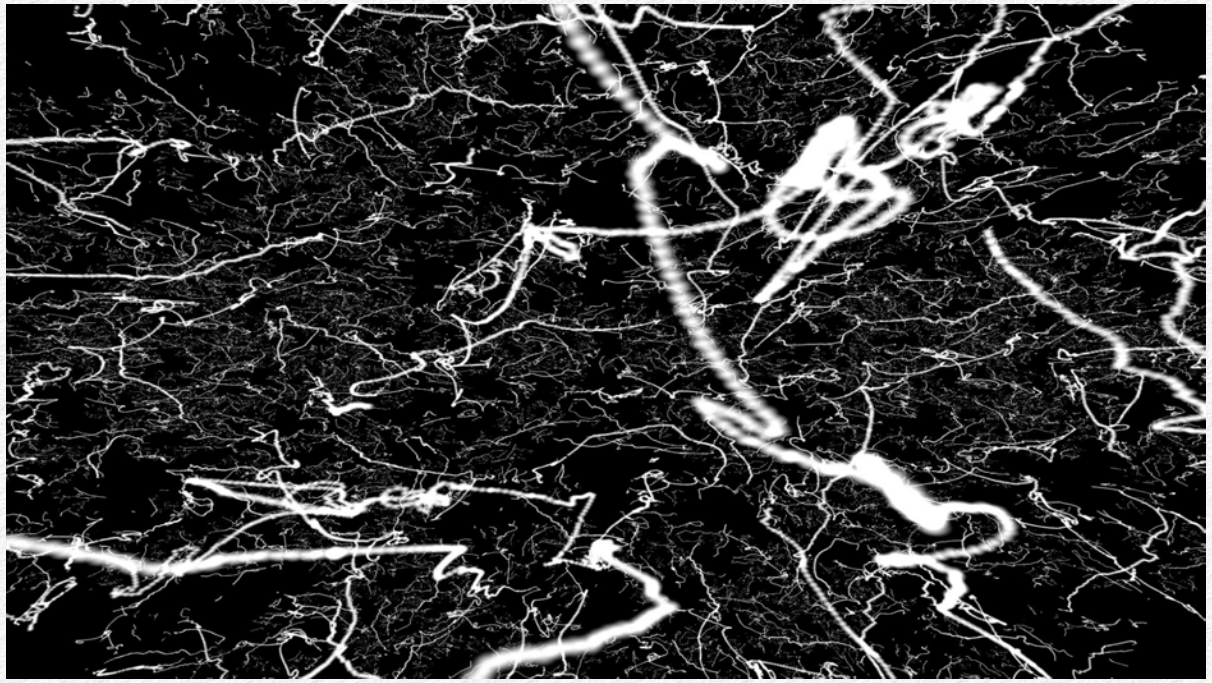


Galeria 3D - espaço hiperbólico

Imagens do movimento de uma partícula na variedade **hiperbólica** criadas pelos visitantes da exposição através da instalação 3D.







CAPÍTULO 5

Teoremas e citações

Este capítulo apresenta alguns dos teoremas fundamentais relacionados com a geometria e a topologia das variedades de dimensão 2 e 3, dentre os quais a Conjectura de Poincaré (1904) e a Conjectura de Geometrização, de Thurston (1976).

Teoremas de variedades 2D e 3D

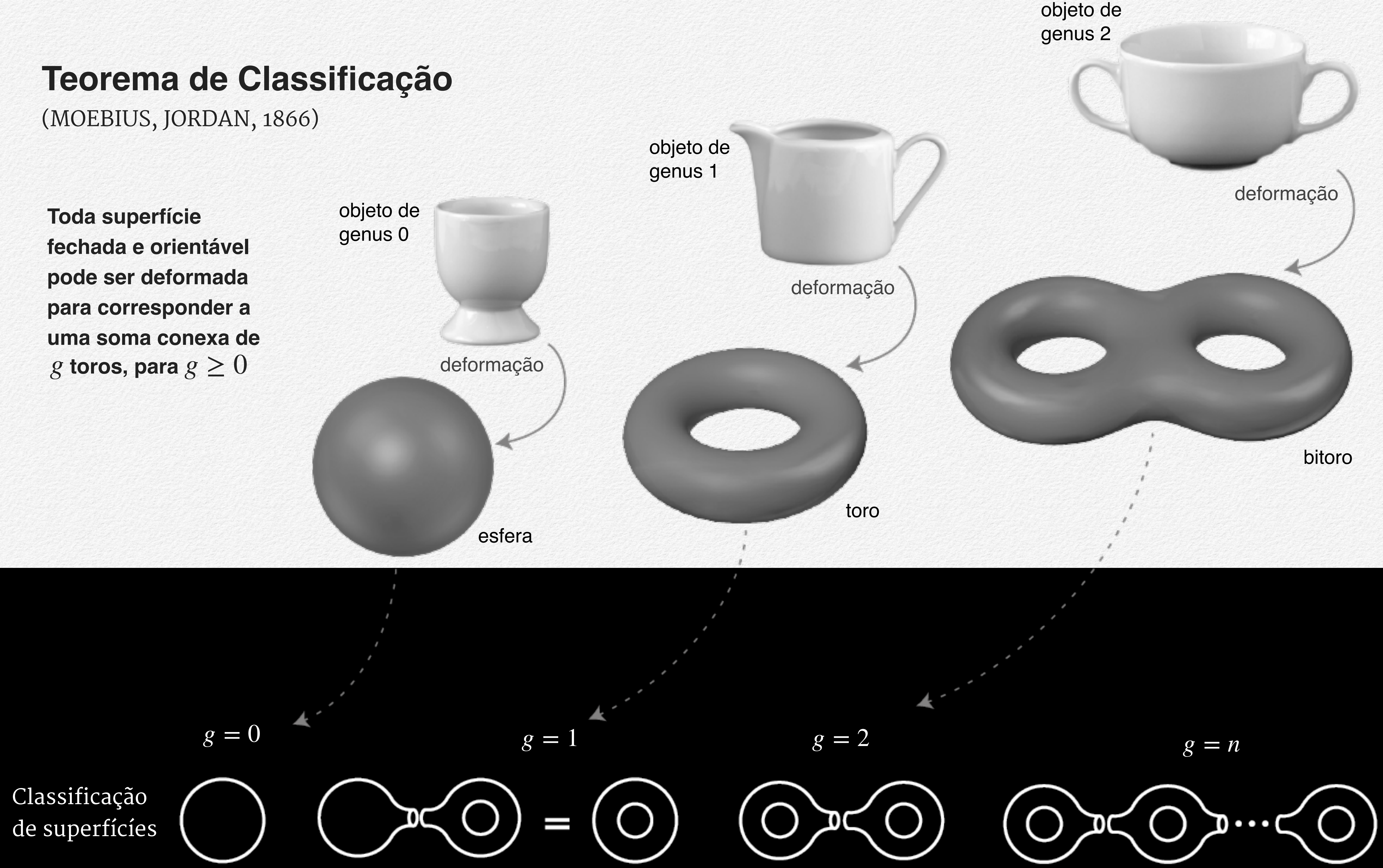
A investigação de aspectos geométricos e topológicos dos espaços abstratos de dimensão *N* constitui um campo importante da Matemática. Grande parte dos problemas sobre as variedades bidimensionais foi resolvida durante o século 19. Dentre os resultados principais estão os teoremas de classificação das superfícies e da uniformização. Entretanto, somente no século 20 chegou-se a um entendimento mais completo das variedades 3D. A prova da Conjectura de Poincaré e do Teorema de Geometrização estão entre as contribuições essenciais para a solução desse desafio.

Figura 5.1 Vitrine com objetos do cotidiano e superfícies abstratas de genus 0, 1 e 2, parte da exposição no MAST.

Teorema de Classificação

(MOEBIUS, JORDAN, 1866)

Toda superfície fechada e orientável pode ser deformada para corresponder a uma soma conexa de g **toros, para** $g \geq 0$

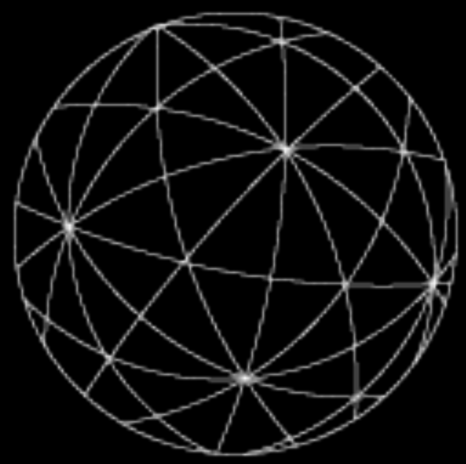


Teorema de Uniformização

(POINCARÉ, KLEIN, 1907)

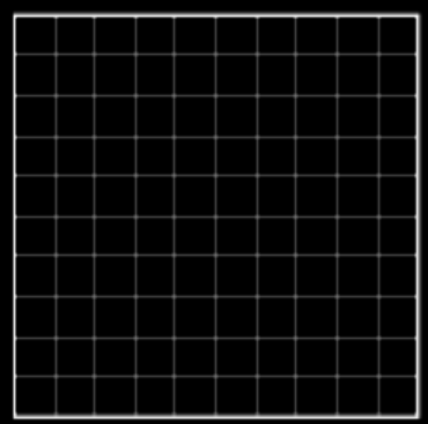
Toda superfície fechada e orientável admite uma das seguintes geometrias: esférica (S^2), plana (E^2) ou hiperbólica (H^2).

S^2



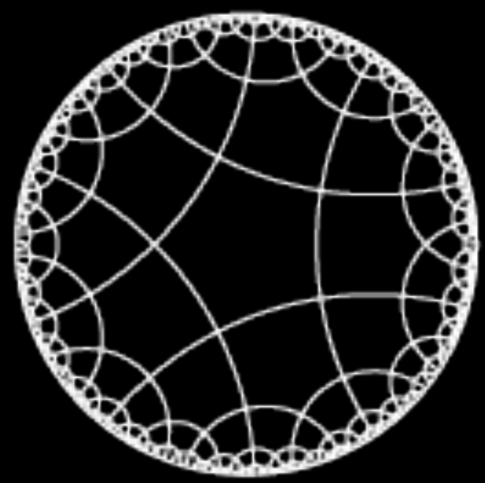
$g = 0$

E^2



$g = 1$

H^2



$g = 2,3,\ldots,n$

Teorema de Geometrização

(THURSTON, PERELMAN, 2002)

Toda variedade tridimensional pode ser cortada ao longo de superfícies e decomposta em variedades de dimensão 3 passíveis de deformação em uma das oito geometrias fundamentais ao lado.

As oito geometrias fundamentais:

S^3	E^3	H^3	$S^2 \times E^1$
$H^2 \times E^1$	SL_2	Nil	Sol

Corolário

(POINCARÉ, PERELMAN)

Toda variedade tridimensional, fechada e simplesmente conexa, pode ser deformada na esfera de dimensão 3.

Conjectura de Poincaré

(POINCARÉ, 1904)

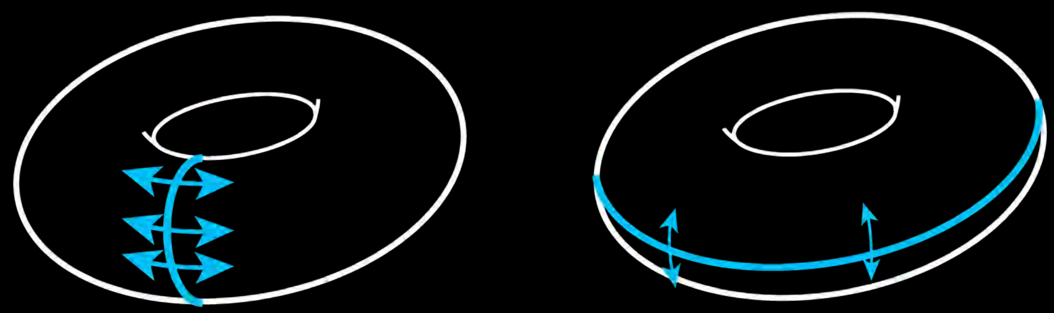
Essa conjectura é sobre espaços simplesmente conexos, caracterizados pela propriedade que todos os caminhos fechados podem ser contraídos ao longo do espaço a um ponto.

O Teorema de Geometrização, provado por Perelman, tem como consequência a solução da famosa Conjectura de Poincaré, um dos sete Problemas do Milênio em Matemática.

simplesmente conexa

Todo caminho fechado na 2-esfera pode ser contraído a um ponto

não simplesmente conexa



Caminhos no 2-toro que não podem ser contraídos a um ponto

Citações e experiências

“Uma geometria não é mais verdadeira que outra, ela somente pode ser mais conveniente ...”

H. POINCARÉ, La Science et L'Hypothèse, 1902

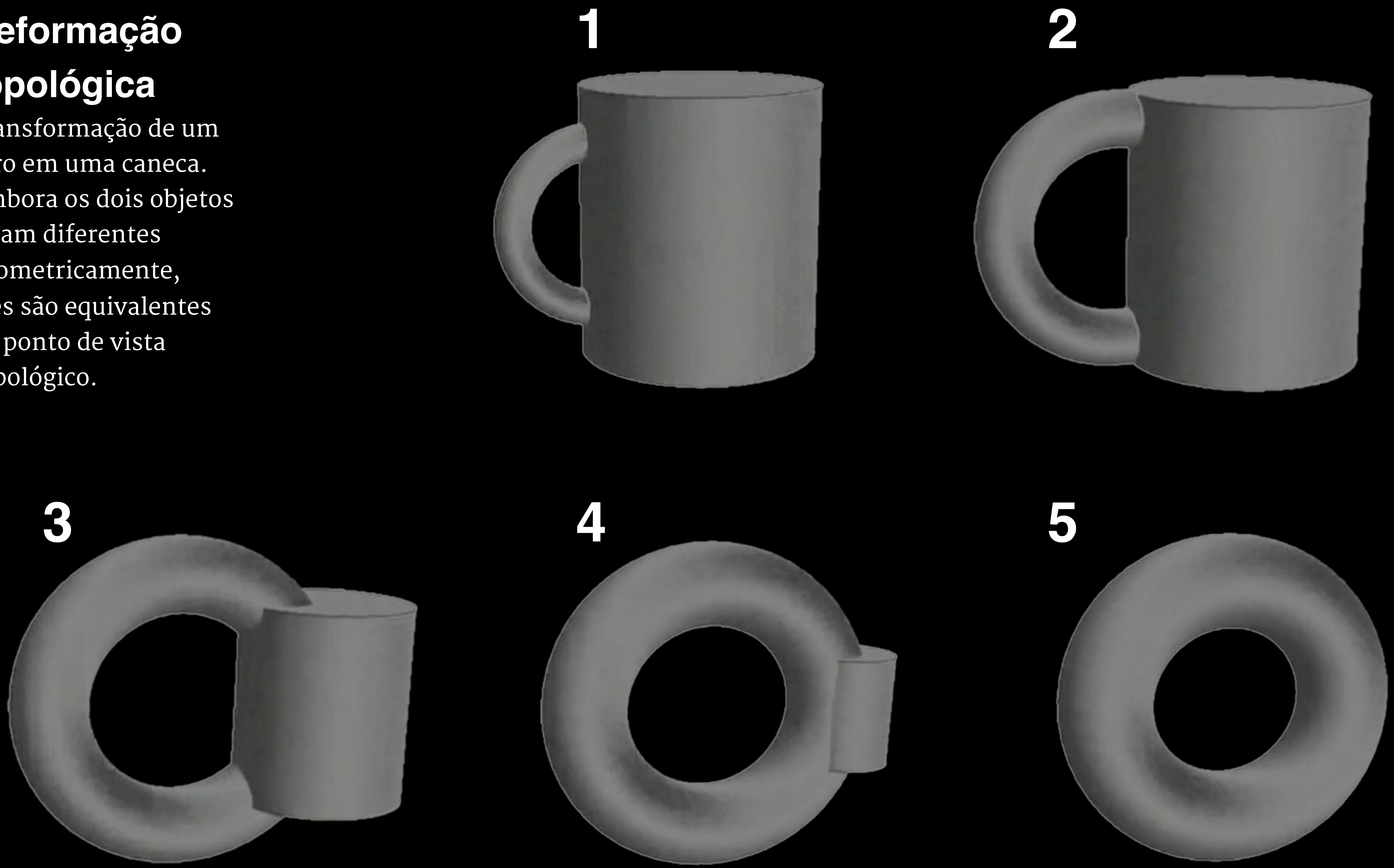
“Qualquer problema de natureza não-linear, que envolva mais de um sistema de coordenadas ou mais de uma variável, ou cuja estrutura seja inicialmente definida em termos globais, provavelmente vai requerer para a sua solução considerações de topologia e teoria dos grupos.

Na resolução de tais problemas, a análise clássica aparece frequentemente como um instrumento local, integrado ao problema como um todo através da topologia ou teoria dos grupos.”

M. MORSE, Calculus of variation in the Large, 1934

Deformação topológica

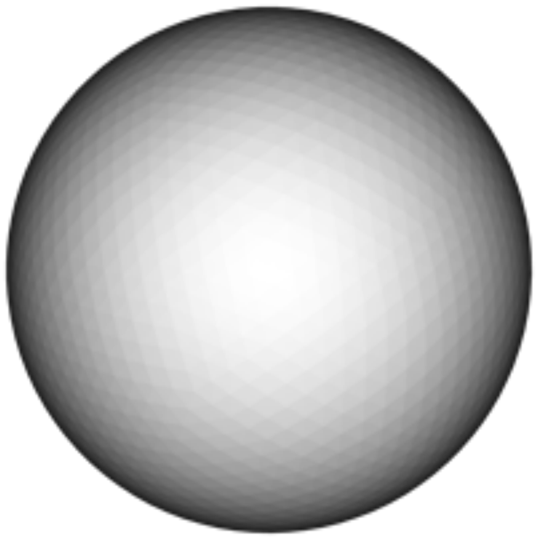
Transformação de um toro em uma caneca. Embora os dois objetos sejam diferentes geometricamente, eles são equivalentes do ponto de vista topológico.



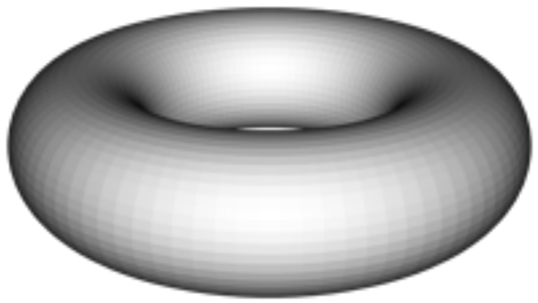
Objetos 3D

Os objetos desta página correspondem, respectivamente, à esfera, ao toro e ao bitoro.

Esfera



Toro



Bitoro

CAPÍTULO 6

As oito geometrias de Thurston

Este capítulo aprofunda o Teorema de Geometrização, desenvolvido por William Paul Thurston, segundo o qual toda variedade de dimensão 3 admite uma decomposição envolvendo uma dentre oito geometrias.

Teorema de Geometrização

O Teorema de Geometrização de Thurston–Perelman é o análogo, para variedades tridimensionais, ao Teorema de Uniformização, para superfícies bidimensionais. Pelo teorema de Uniformização, toda superfície simplesmente conexa admite uma das 3 geometrias (plana, esférica, hiperbólica). Mas, em dimensão três nem sempre é possivel associar uma única geometria ao espaço topológico completo de uma variedade. Por outro lado, o Teorema da Geometrização afirma que toda variedade 3D fechada sempre pode ser decomposta de forma canônica em partes que possuem um dos oito tipos de estrutura geométrica. A Conjectura da Geometrização de Thurston foi provada por Perelman usando o Fluxo de Ricci com Cirurgias.

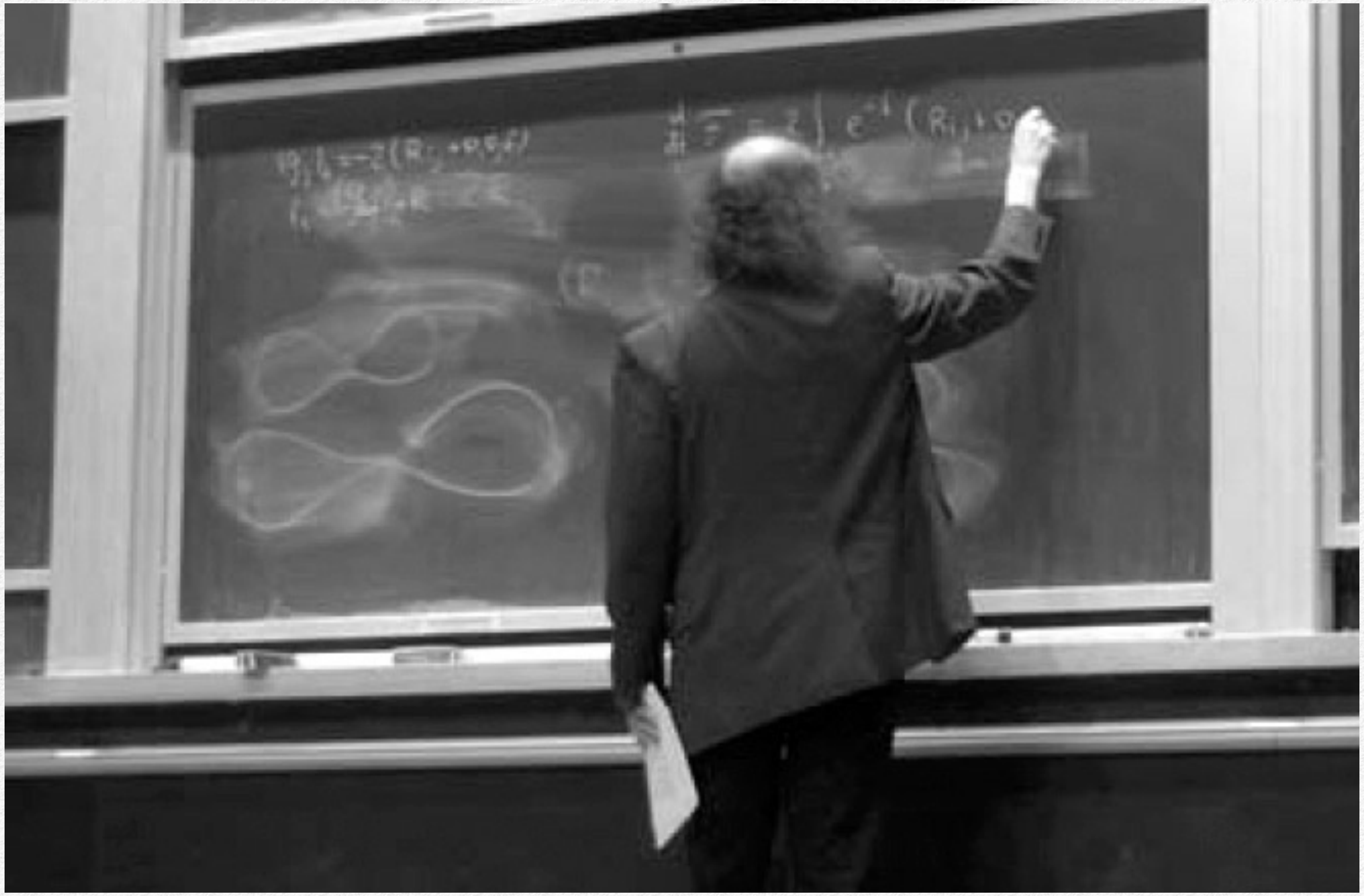


Figura 6.1 Perelman discute sua prova da Conjectura de Poincaré e a conclusão do Programa de Geometrização de Thurston em seminário na Universidade Princeton, em abril de 2003.

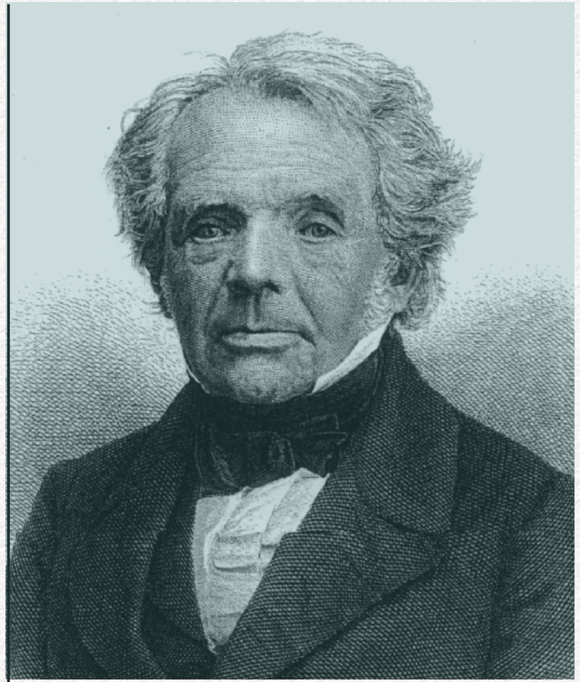
CAPÍTULO 7

Um pouco de história

Aqui, você poderá visualizar uma linha do tempo que conta mais sobre a história dos matemáticos, problemas e prêmios relacionados à Conjectura de Poincaré.

Linha do tempo

Agora que já apresentamos e descrevemos conceitos e teoremas relacionados ao universo da Geometria e da Topologia, estamos prontos para explorar, com mais detalhes, a gênese da Conjectura de Poincaré e de seus principais pensadores. A linha do tempo foca em alguns dos maiores feitos e descobertas relacionados a esta questão que é apontada como um dos sete problemas matemáticos do milênio pela Clay Mathematics Institute. Da mesma forma, destacamos alguns fatos relativos às pesquisas dos matemáticos que ajudaram a formular e solucionar o problema.



August Ferdinand Möbius
(17 de Novembro de 1790
- 26 de Setembro de 1868)

Matemático e astrônomo alemão. Seu trabalho mais conhecido é a Faixa de Möbius, uma superfície não-orientável com bordo. O símbolo do IMPA, Instituto de Matemática Pura e Aplicada (Rio de Janeiro, Brasil), é inspirado no espaço topológico da Faixa de Möbius.

impa

1790

Christian Felix Klein
(25 de Abril de 1849 -
22 de Junho de 1925)

Matemático alemão conhecido pelo seu trabalho em Teoria dos Grupos e Análise Complexa.

Jules Henri Poincaré
(29 de Abril de 1854 - 17 de Julho de 1912)

Matemático francês, físico teórico, engenheiro e também filósofo. Dentre suas inúmeras contribuições para o conhecimento matemático, destaca-se a formulação da Conjetctura de Poincaré, em 1904.

1849

1854

Morre A. F. Möbius

1868

Em 1872, Klein elaborou o Programa Erlanger para classificar as geometrias pelos seus grupos de simetrias.

1872

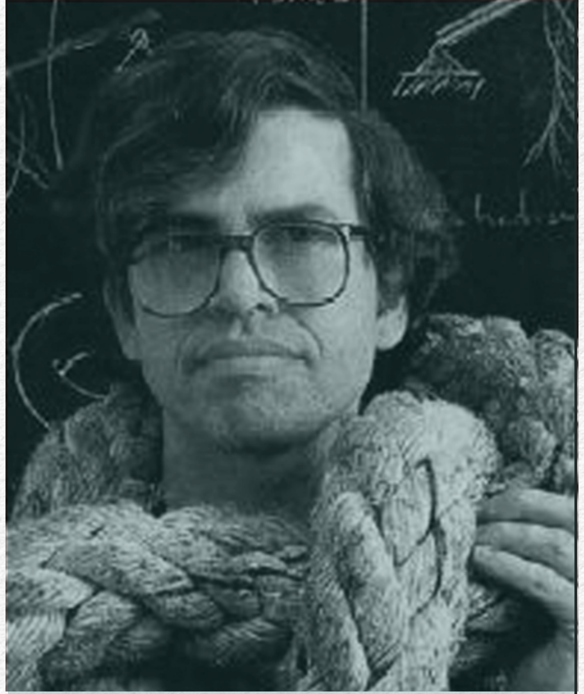
FORMULAÇÃO DA CONJECTURA DE POINCARÉ

?

1904

Morre J. H. Poincaré

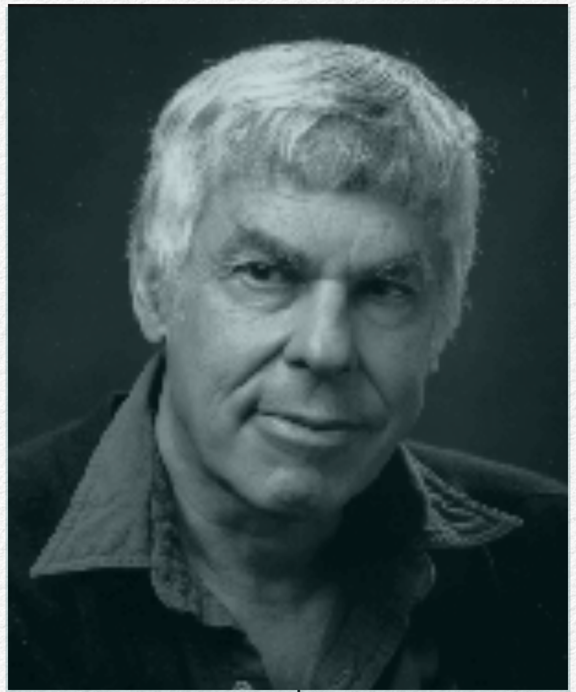
1912



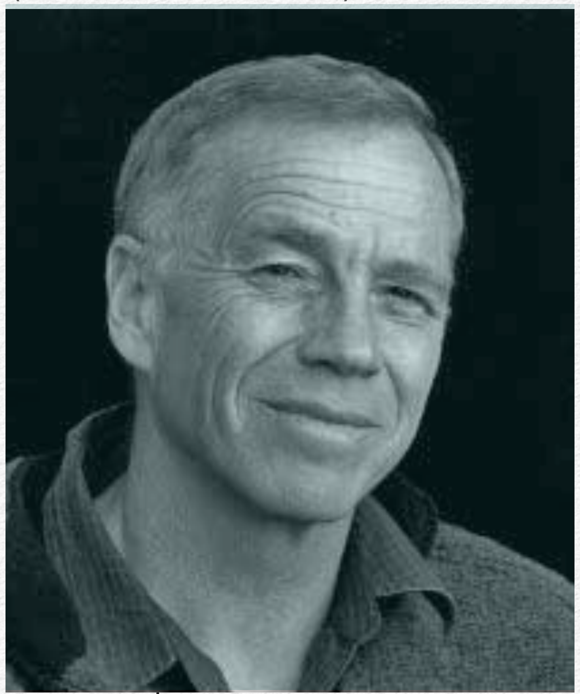
William Paul Thurston
(30 de Outubro de 1946 -
21 de Agosto de 2012)

Matemático americano, pioneiro no campo da Topologia em baixas dimensões. Thurston formulou a Conjectura da Geometrização, segundo a qual toda 3-variedade admite uma decomposição envolvendo oito geometrias.

Stephen Smale
(15 de Julho de 1930)



Michael Freedman
(21 de Abril de 1951)



Grigori Yakovlevich Perelman
(13 de Junho de 1966)

Matemático russo que proporcionou contribuições fundamentais para a Geometria Riemanniana e a Topologia Geométrica. Perelman provou, em 2002, o Teorema de Geometrização de Thurston. Consequentemente, com isso resolveu positivamente a Conjectura de Poincaré para variedades de dimensão 3.

Morre C. F. Klein

S. Smale recebe a Medalha Fields

W. P. Thurston recebe a Medalha Fields

M. Freedman recebe a Medalha Fields

1925 1930 1946 1951 1966 1982 1986

A Conjectura de Poincaré e a Medalha Fields

Até hoje, a União Matemática Internacional (IMU) já concedeu 44 Medalhas Fields. Três delas premiaram trabalhos diretamente ligados à Conjectura de Poincaré. Algumas outras foram conferidas a tópicos correlatos. Listamos cinco premiações que merecem destaque:

- **Stephen Smale, 1966**

Recebeu a Medalha Fields em 1966 após provar a Conjectura de Poincaré em dimensão maior ou igual a 5 em 1960.

- **William Thurston, 1982**

Recebeu a Medalha Fields, em 1982, ao formular a Conjectura da Geometrização e provar que ela é válida no caso das variedades de Haken (Teorema "Monstro").

- **Shing-Tung Yau, 1982**

Recebeu a Medalha Fields, também em 1982, por resolver a Conjectura de Calabi e por outros trabalhos.

- **Michael Freedman, 1986**

Recebeu a Medalha Fields, em 1986, por provar a Conjectura de Poincaré em dimensão 4, em 1982.

- **Grigori Perelman, 2006**

Foi-lhe concedida, em 2006, a Medalha Fields, após publicar artigos contendo a prova da Conjectura de Poincaré e da Conjectura da Geometrização, em 2002. No entanto, Perelman recusou.

Ademais, a Conjectura de Poincaré é apontada como um dos sete problemas do milênio, segundo o Clay Mathematics Institute. Para a resolução desses problemas, a instituição oferece o prêmio de um milhão de dólares.

RESOLUÇÃO DA CONJECTURA DE POINCARÉ

G. Y. Perelman recebe a Medalha Fields, mas a recusa

G. Y. Perelman recebe o prêmio Clay do Milênio, mas o recusa

Morre W. P. Thurston

2002 2006 2010 2012

CAPÍTULO 8

Saiba mais

Aqui, está reunida uma seleção de livros, vídeos, palestras e eventos que ajudará você a conhecer ainda mais sobre esta fascinante área da Matemática.

Livros

Clique nas URLs para comprar os livros.

A SOLUÇÃO DE POINCARÉ: EM BUSCA DA FORMA DO UNIVERSO
Donal O'Shea, 2007

Sinopse: "A solução de Poincaré" conta a história das fascinantes personalidades, instituições e erudição por trás de séculos de matemática que conduziram à dramática prova de Perelman, e que, no processo, ampliaram a nossa compreensão de como opera o universo. De forma clara e acessível, o autor oferece uma visão memorável da busca coletiva de conhecimento sobre o universo neste livro instigante.

http://www.buscape.com.br/a-solucao-poincare-donal-o-shea-8501079243.html

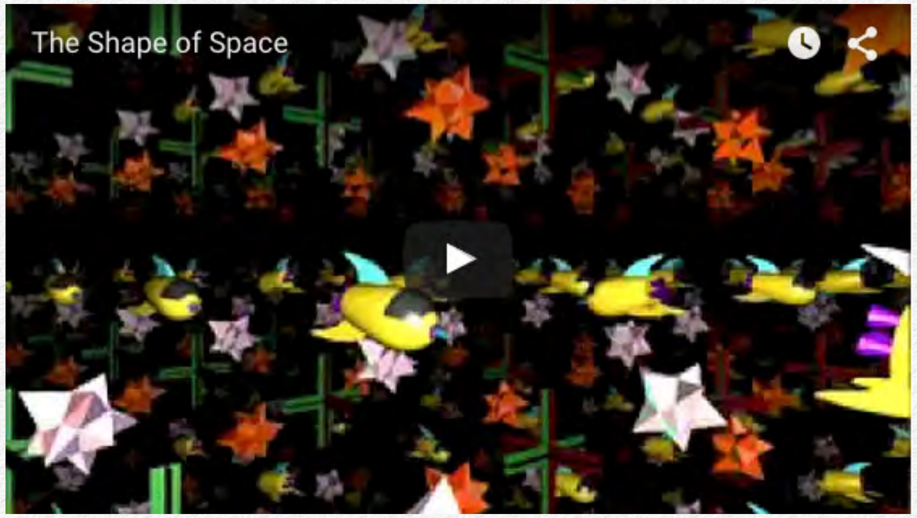
PLANOLÂNDIA: UM ROMANCE DE MUITAS DIMENSÕES
Edwin A. Abbott, 1992

Sinopse: A história se passa em um universo bidimensional habitado por figuras geométricas. O narrador e protagonista é um quadrado, que apresenta ao leitor a organização social e política de seu país, onde o prestígio social relaciona-se ao número de lados e à regularidade destes. Assim, as camadas sociais variam de forma ascendente dos triângulos isósceles aos círculos, que constituem o topo da hierarquia.

http://www.saraiva.com.br/planolandia-um-romance-de-muitas-dimensoes-col-classicos-conrad-108589.html

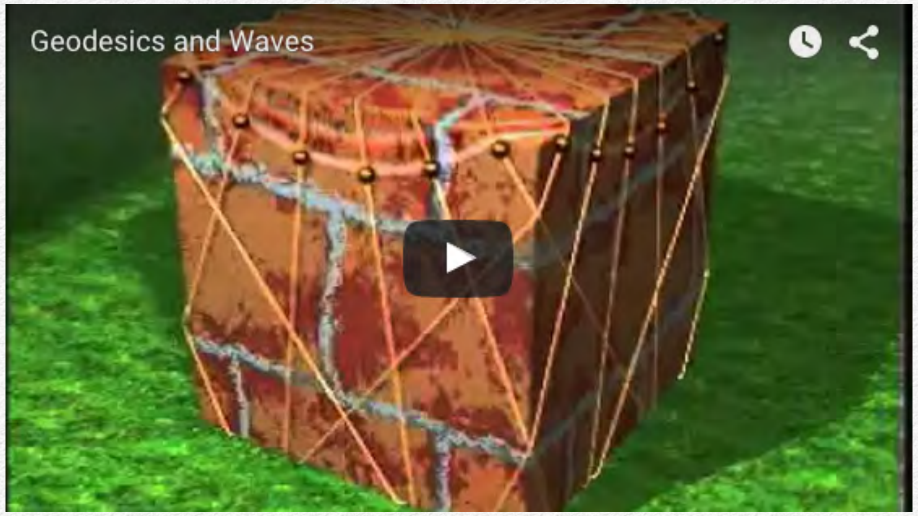
Vídeos

Clique nos vídeos ou nas URLs para assistí-los.



THE SHAPE OF SPACE (GEOMETRY CENTER)
Tamara Munzner e Delle Maxwell, 1995
https://youtu.be/-gLNlC_hQ3M

DIMENSIONS
Jos Leys, Étienne Ghys, Aurélien Alvarez, 2010
https://youtu.be/6cpTEPT5i0A?list=PL3C690048E1531DC7



GEODESICS AND WAVES
Konrad Polthier, Markus Schmies, Martin Steffens, Christian Teitzel, 1997
https://youtu.be/bX_dsbiDfZw

Palestras

Clique nos vídeos ou nas URLs para assistí-los.

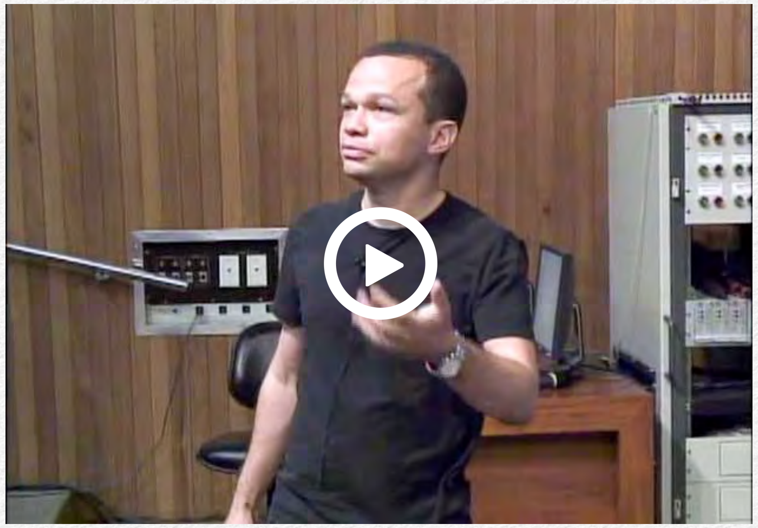
THE GEOMETRY OF 3-MANIFOLDS
Cutis T. McMullen
Harvard Science Center Research Lecture Series, Outubro 2006
https://youtu.be/ZY50V_d4wok

MATH ENCOUNTERS: THE SHAPE OF SPACE
Jeff Weeks
National Museum of Mathematics, Fevereiro 2012
https://youtu.be/5u7hFQy9Mt0

THE POINCARÉ CONJECTURE OR: HOW I LEARNED TO STOP WORRYING AND LOCK MY BIKE
Kate Poirier
Nerd Nite East Bay #8 - The New Parkway, Maio
https://youtu.be/p4FtN3FN3XY

Palestras do IMPA

Clique nos vídeos ou nas URLs para assistí-los.



“GEOMETRIA E IMAGINAÇÃO: UM PASSEIO”
Fernando Codá
IMPA | Junho 2014 | Nível básico
https://youtu.be/G0yoDJ8lRWI

“CONJECTURA DE POINCARÉ: GEOMETRIA PARA ENTENDER O UNIVERSO”
Marcelo Viana
IFUSP | Novembro 2008 | Nível intermediário
https://youtu.be/Kqih4TUMzAw

“THE POINCARÉ CONJECTURE”
Fernando Codá
IMPA | Novembro 2012 | Nível avançado
https://youtu.be/xyXWiS4HEbE

“THE WILLMORE CONJECTURE AND MINIMAL SURFACES”
Fernando Codá
60 Anos do IMPA | Outubro 2012 | Nível avançado
https://youtu.be/onXUkmVKGM4

Eventos do IMPA

Clique nos vídeos para assistí-los e nas URLs para saber mais sobre os eventos.

COLÓQUIO INTERDISCIPLINAR HENRI POINCARÉ
IMPA, 2012

Cerimônia de abertura

http://www.impa.br/opencms/pt/eventos/store_old/evento_1206

http://video.impa.br/index.php?page=homenagem-poincare-2012

TRIMESTER PROGRAM ON COMPUTATIONAL MANIFOLDS AND APPLICATIONS
IMPA, 2012

Palestra 1 – "The classification theorem for compact surfaces", **Jean Gallier**

http://www.visgraf.impa.br/cma2011/

http://www.visgraf.impa.br/cma2011/workshop/videos.html

Cursos no IMPA

Clique nos vídeos para assistí-los e nas URLs para saber mais sobre os cursos.

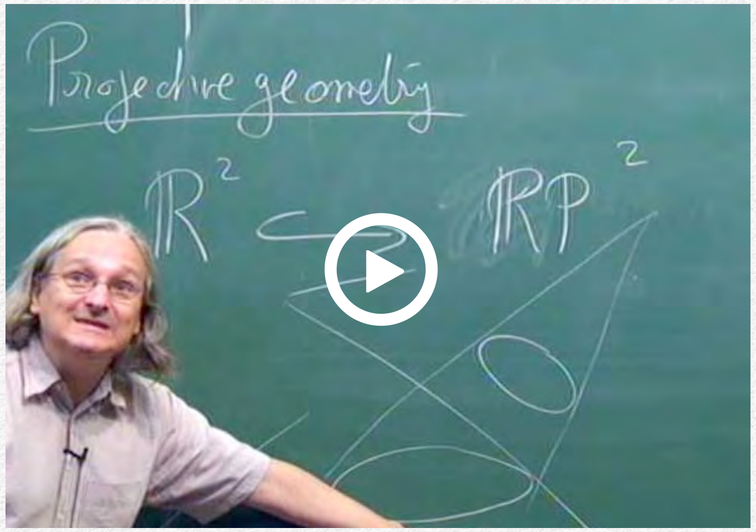
FLUXO DE RICCI E CONJECTURA DE POINCARÉ
Escola de Altos Estudos, 2007

Aula 1, **Luiz A. Florit**

http://www.impa.br/opencms/pt/ensino/escola_altos_estudos/fluxo_ricci_conjectura_poincare.html

http://www.impa.br/opencms/pt/ensino/escola_altos_estudos/aulas_anteriores_video.html

THE UNIFORMIZATION THEOREM: OLD AND NEW
Escola de Altos Estudos, 2011



Aula 1, **Étienne Ghys**

http://www.impa.br/opencms/pt/ensino/escola_altos_estudos/2011/Etienne_Ghys/the_uniformization_theorem_old_new.html

http://video.impa.br/index.php?page=escola-de-altos-estudos-the-uniformization-theorem-old-and-new

CAPÍTULO 9

Ficha técnica

Por fim, este capítulo apresenta todas as pessoas e instituições envolvidas na realização da exposição “Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3” (França e Brasil) e na concepção e desenvolvimento deste catálogo.

CONCEPÇÃO DA EXPOSIÇÃO

A exposição segue um programa de arte-ciência com perspectivas didáticas inicialmente proposto por Pierre Berger e Pierre-Yves Fave.
A exposição foi lançada primeiro em Paris (Université Paris 13 e Ecole Normale Supérieure). Pierre Berger e Pierre-Yves Fave são co-autores dos vídeos “Dimensão”, “Construindo Variedades”, “Variedade de Dimensão 2 e 3” e “Visão interior/exterior” e das instalações 2D e 3D, com base em programas desenvolvidos por equipes internacionais com formação multidisciplinar nos campos da Ciência, Arte e Tecnologia.

Pierre Berger
Matemático e pesquisador do CNRS - Paris 13. Ele tem doutorado pelo Collège de France e formação pela École Normale Supérieure e École des Arts Décoratifs (Paris).

Autor e coordenador da exposição. Responsável pelo desenvolvimento de software e imagens.

Pierre-Yves Fave
Artista plástico, formado na École des Beaux Arts (Paris), e especialista em instalações multimídia. Ele participou de diversas exposições na França, inclusive no Le Centre Georges Pompidou.

Co-autor e cenógrafo. Responsável pela produção de vídeos e instalações interativas.

Luiz Velho
Pesquisador titular do IMPA e líder do VISGRAF. Doutor pela University of Toronto e mestre pelo MIT Media Lab. Um dos pioneiros da animação por computador no Brasil, trabalhou em fotografia, cinema e televisão.

Supervisor do projeto no Brasil. Responsável pelo desenvolvimento de software.

Alex Laier Bordignon
Professor assistente no Dep. de Matemática da UFF e doutor em Matemática pela PUC-Rio. Ele tem experiência na área de sistemas interativos.

Responsável pela programação dos sistemas de simulação visual das instalações.

Sergio Krakowski C. Rego
Músico profissional, formado em Matemática pura e aplicada com doutorado pelo IMPA. Tem se destacado internacionalmente por sua atuação na área de música experimental.

Responsável pela programação da simulação sonora da instalação.

Mariana Duprat
Designer formada pela ESDI. Trabalhou com design de interação no IMPA. Já realizou instalações e exposições interativas para diversos museus de ciências no Rio.

Responsável pelo design da exposição e pelas ilustrações da seção “Visualização exterior de superfícies”.

Juliano Kestenberg
Designer com graduação e mestrado pela ESDI. Trabalha como assistente de pesquisa no IMPA.

Responsável pelo Design da exposição e pela edição de vídeos.

Djalma Lucio
Formado em Ciência da Computação, trabalha no IMPA em desenvolvimento de sistemas gráficos.

Responsável pela programação e pelo suporte de sistemas.

EXPOSIÇÃO NO MAST

PROJETO

Antonio Carlos Martins
Coordenação de montagem e projeto de adaptação

Ivo Antonio Almico
Projeto de adaptação

EQUIPE DE PRODUÇÃO

Dennis Regin da Silva Luiz

Douglas José de Almeida

Luis Ramiro

Rodrigo de Oliveira Barreto

Wilson Nascimento

Wilson Pontes Cruz

LOGÍSTICA E ADMINISTRAÇÀO NO LABORATÓRIO VISGRAF

Adriana Marangoni

Monica Borges

EXPOSIÇÃO NA FRANÇA

RELAÇÕES ACADÊMICAS E COMUNICAÇÃO

Gwenola Madec
Johanne Ferry-Dely
Université Paris 13

Gaël Octavia
Fondation Sciences Mathématiques de Paris

LOGÍSTICA E ADMINISTRAÇÃO NO LAGA

Gilles Desert

Jean-Philippe Domergue

Yolande Jimenez

Laurence Halpern

PARCEIROS INSTITUCIONAIS

CNRS-LAGA-Université Paris 13
Laboratoire Analyse Géométrie et Application

Laboratório VISGRAF do IMPA
Unité mixte internationale du cnrs

Universidade Federal Fluminense
Rio de Janeiro

FINANCIAMENTO

AGRADECIMENTOS

Etienne Ghys

Jean-Luc Mincheni

Benoît Rittaud

Jacob Palis Jr

Jorge Lopes

Cassia Pessanha

Consuelo Camara

EDITORAÇÃO DO CATÁLOGO

Esta publicação é a versão em pdf do catálogo interativo da exposição “Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3”, idealizada por Pierre Berger e Pierre-Yves Fave, e em cartaz no MAST - Museu de Astronomia e Ciências Afins (Rio de Janeiro). Para informações sobre a versão interativa acesse http://olhar3d.impa.br/catalogo/

CRÉDITOS

Luiz Velho

Responsável pelo projeto editorial e texto.

Júlia Rabetti Giannella

Responsável pelo projeto gráfico, desenvolvimento do iBook (recursos interativos e diagramação) e texto.

Júlia Rabetti Giannella Designer formada pela UFRJ e mestre em Ciências da Comunicação pela USP. É doutoranda em Design pela ESDI-UERJ e trabalha como assistente de pesquisa no VISGRAF-IMPA.

CRÉDITOS ADICIONAIS*

- O catálogo foi criado utilizando o software iBooks Author, da Apple.
- O Passeio Virtual da exposição “Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3” foi desenvolvido através do software Panotour Pro, da Kolor.
- As fotos da exposição “Um Olhar nos Espaços de Dimensão 3” foram feitas pela equipe do MAST (Museu de Astronomia e Ciências afins, Rio de Janeiro).
- As ilustrações da seção “Variedades de duas dimensões” foram feitas por Mariana Duprat.
- Os vídeos das seções “Geometria e Topologia” e “Variedades de três dimensões” foram produzidos por Pierre Berger e Pierre-Yves Fave.
- O vídeo 5.1 foi gerado no software Mathematica.
- Os sons da seção “Variedades de três dimensões” gerados por Sergio Krakowski com ajuda de Pierre Berger, são resultado de simulações realizadas nas instalações da exposição na França.
- Os objetos 3D da seção “Teoremas e citações” foram modelados através dos softwares MatLab e MeshLab.
- As imagens das “Galeria 2D” (3.1) e “Galeria 3D” (4.1) foram criadas por visitantes da exposição utilizando, respectivamente, as instalações interativas 2D e 3D
- Os vídeos e imagens das instalações interativas 2D e 3D, dos capítulos 3 e 4, foram produzidos a partir das instalações de P. Berger and P.-Y. Fave usando o algoritmo descrito no artigo: “*An image-space algorithm for immersive views in 3-manifolds and orbifolds*”, Pierre Berger, Alex Laier, and Luiz Velho. Visual Computer, v. 31, p. 1-12, 2014.

* Alguns créditos são referentes à versão interativa do catálogo.

Um olhar nos espaços de dimensão 3: o catálogo da exposição
de P. Berger e P.-Y. Fave, ISBN 978-85-244-0418-4