

EXPERIÊNCIAS TRANSDISCIPLINARES DE ENSINO EM MUSEUS E EXPOSIÇÕES

TRANSDISCIPLINARY TEACHING EXPERIENCES AT MUSEUMS AND EXHIBITIONS

COSTA, Maria C. M.; Bacharelado em Design em andamento. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

mcmoreno447@gmail.com

NOVAES, Luiza; Doutora; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Inovaes@puc-rio.br

BONELLI, João de Sá; Doutor; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

joao-bonelli@puc-rio.br

Resumo

O foco deste trabalho está no estudo de museus e casas de ciência, compreendendo o papel do Design em projetar experiências com diversos tipos de interação, que auxiliem na construção de reflexão e pensamento crítico do público. A partir da compreensão dos meios para experiências interativas no contexto do ensino de ciências em museus, foi observada a característica transdisciplinar do ensino-aprendizagem nesses espaços. Como prova de conceito, foram desenvolvidas experiências que facilitam diálogos entre campos diversos como matemática, artes, programação e física, propondo uma perspectiva de ensino que atravessa áreas. Uma oficina piloto desenvolvida, relacionando aspectos de motion design, programação e física levaram a reflexões e à conclusão de que dinâmicas transdisciplinares potencializam a formação de profissionais capazes de relacionar conhecimentos e criar novos significados. Dessa maneira, a pesquisa passou a explorar as diferenças e semelhanças da representação em artes e matemática através de instalações interativas, buscando uma abordagem transdisciplinar.

Palavras Chave: transdisciplinaridade; museus; experiências interativas.

Abstract

The focus of this work is on the study of science museums, understanding the role of Design in creating experiences with different kinds of interaction, which help to build critical thinking among the public. From the investigation of the means for interactive experiences in the context of science teaching in museums, it was observed the transdisciplinary characteristic of teaching and learning in these spaces. As a proof of concept, experiments that create dialogues between different fields such as mathematics, arts, programming and physics, proposing a teaching perspective that crosses areas were developed. Reflections on a workshop that relates aspects of motion design, programming and physics led to the conclusion that transdisciplinary dynamics potentialize development of professionals capable of connecting and creating new meanings for knowledge. Therefore, the research began to explore the differences and similarities of representation in arts

and mathematics through interactive installations seeking a transdisciplinary approach.

Keywords: *transdisciplinarity; museums; interactive experiences.*

1 Introdução

Desde o final do séc. XX, vem se intensificando a discussão sobre uma reformulação da função do museu na sociedade. Baseadas nas relações estabelecidas pelos funcionários e o público desses espaços, as novas concepções definidas em 2022 pelo Conselho Internacional de Museus (ICOM)¹ estabelecem o papel transformador dessas instituições. Em contraposição ao passado, em que suas atividades eram propostas a partir da preservação e exposição de artefatos históricos, atualmente, os museus, em colaboração com as comunidades nas quais estão inseridos, buscam ampliar o entendimento sobre o mundo e oferecem um espaço de diálogo crítico entre passado e presente, possibilitando assim a formação de novas concepções para o futuro.

Os museus de ciência e tecnologia tiveram papel de destaque nessa nova forma de pensar que vem se instaurando desde o século passado. Incorporando avanços tecnológicos, ensino e elementos lúdicos, esses espaços têm como propósito construir o conhecimento científico de maneira didática para a população. Um exemplo atual é o Museu Catavento², inaugurado em São Paulo em 2009, que mescla experimentos físicos com outros recursos interativos, como a realidade virtual, para transmitir conhecimentos básicos de ciência.

Ao investigar o modo com que os museus brasileiros contemporâneos estabelecem relações com o seu público, foi observado que esses espaços buscam aproximar o conteúdo produzido academicamente da realidade do seu público, seja por meio da contextualização histórica, da correlação entre fenômenos cotidianos e conceitos científicos, ou de experimentos *hands-on*. Ao propor essas práticas, os museus estudados evidenciam uma característica que é da natureza humana: a transdisciplinaridade. Dessa forma, em um primeiro momento, entendemos que focar no desenvolvimento de experimentos que demonstram fenômenos físicos cotidianos nos traria a possibilidade da construção do conhecimento em etapas, com a participação do usuário estabelecendo relações com a vida real.

A partir das experiências de ensino-aprendizagem realizadas no início da pesquisa, que demonstraram fenômenos físicos e sua relação com o campo do Motion Design, foi possível perceber que o interesse no processo de ensino-aprendizagem de ciências surge também por sua associação com as artes. Ao relacionar os conceitos físicos com a prática do design, notou-se que os alunos se tornaram mais suscetíveis a quebrar a barreira que existe em aprender matemática. Sendo propiciado um aprendizado heterogêneo, as discussões em grupo levaram à criação de um diálogo comum entre design, física e matemática.

Diante do cenário de crescimento sem precedente dos conhecimentos, as novas experiências criadas na segunda etapa da pesquisa buscaram um olhar transdisciplinar sobre disciplinas diversas. A fim de estimular a supressão de barreiras no aprendizado de certos conhecimentos, este projeto optou por focar sobre o que está entre, através e além das disciplinas como física, matemática e artes, buscando como objetos de experimentação elementos existentes na natureza que são frequentemente representados nos mais variados campos do conhecimento.

¹ A Nova Definição de Museu está disponível em: http://www.icom.org.br/?page_id=2776 acesso em 04/07/2024.

² Museu Catavento: <https://museucatavento.org.br/> acesso em 04/07/2024.

2 Museus e Casas de Ciências

Nas últimas décadas os museus vêm mudando a sua forma de se relacionar com o público, passando de espaços que têm como propósito expor coleções para lugares que proporcionam novas conversas com os visitantes. A origem dos museus e casas de ciências pode ser atrelada ao surgimento dos gabinetes de curiosidades no séc XVI. Muitas vezes sem curadorias explícitas, os gabinetes eram coleções particulares dos mais variados artefatos exóticos.

As investigações científicas que emergiram na Renascença impulsionaram o estabelecimento de novos significados para essas coleções. Os gabinetes de curiosidade se transformaram, portanto, em gabinetes de histórias naturais que posteriormente foram designados como Museus de História Natural. Durante os séculos seguintes, os espaços expositivos passaram por contínuas alterações. Os Museus de História Natural eram organizados de acordo com a Teoria da Evolução, de Charles Darwin, e criados com o objetivo de receber a visita pública (CONSTANTIN, 2001).

Um exemplo de museu que surgiu de uma coleção particular é o Museu Pitt Rivers, fundado na Inglaterra em 1884 quando o General Pitt Rivers³, importante figura para a arqueologia e a antropologia evolucionista, doou seu acervo pessoal à Universidade de Oxford. Com uma grande variedade de objetos, a coleção atualmente é organizada a partir do tipo de artefato: máscaras, instrumentos musicais, ferramentas, entre outros. A partir dessa proposta de curadoria é possível criar paralelismos e justaposições sobre as características de diferentes culturas.

No século XX, a evolução da ciência e tecnologia estimulou uma nova concepção sobre os museus de ciência. Os novos espaços estabelecidos tinham o compromisso de repassar os resultados das suas investigações científicas por meio de atividades educativas. Em 1906, o Museu Nacional Alemão de Ciências e das Técnicas⁴, conhecido como Deutsches Museum, de Munique, teve papel de destaque no conceito eminente de museu educacional. Ao acrescentar ao acervo histórico modelos simplificados de princípios e operação de máquinas, acionados pelos visitantes, o museu trouxe o entendimento da ciência para seu público.

O Exploratorium⁵, fundado em 1969, em São Francisco, foi pioneiro em integrar ciência, tecnologia e artes, de maneira multidisciplinar. A criação desse centro de ciência desencadeou uma nova forma de interatividade, os visitantes são convidados a interagir com os módulos da exposição a partir de vários experimentos *hands-on*. Atualmente, mais museus de ciências com abordagens participativas estão surgindo com modelos mais variados e adaptados para suas áreas de atuação.

Como já mencionado anteriormente, em 2022 o ICOM elaborou e aprovou uma Nova Definição de Museu, que inclui a seguinte complementação: “Com a participação das comunidades, os museus funcionam e comunicam de forma ética e profissional, proporcionando experiências diversas para educação, fruição, reflexão e partilha de conhecimentos”. Observa-se que, na pesquisa, apesar dos museus de ciências buscarem o diálogo com os seus públicos, esses o fazem a partir de diferentes abordagens.

Nesta pesquisa, buscando entender a interação dos museus de ciências brasileiros com

³ Museu Pitt Rivers: <https://www.prm.ox.ac.uk/> acesso em 04/07/2024.

⁴ Museu Nacional Alemão de Ciências e das Técnicas: <https://www.deutsches-museum.de/en> acesso em 04/07/2024.

⁵ Museu Exploratorium: <https://www.exploratorium.edu/> acesso em 04/07/2024.

seu público, foi realizada tanto uma investigação dos conteúdos disponíveis em seus sites institucionais quanto visitas aos museus pelos pesquisadores. Essa observação nos fez pensar em uma possível categorização das dinâmicas expositivas, e refletir sobre os tipos de conteúdos presentes nos museus estudados. Portanto, nos propomos a dividi-los de acordo com as categorias abaixo. É importante notar que essas categorias não são excludentes, mas baseadas nas principais características de cada museu.

2.1 Histórico-expositivos

Voltados para a história da ciência, esses museus dispõem o seu acervo a partir de uma ordem cronológica. Têm como objetivo apresentar os avanços científicos e tecnológicos através de uma linha do tempo. Geralmente esses espaços estimulam o visitante a passear pelo museu a partir de uma certa direção. Os elementos de interação existentes desvendam também a história por trás das descobertas científicas.

Figura 1 - Imagem da exposição Olhar o Céu, Medir a Terra.



Fonte: guia de visitação MAST.

O Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST)⁶, localizado no Rio de Janeiro, tem como propósito ampliar o acesso da sociedade ao conhecimento científico, atuando como um espaço de pesquisa, preserva o e divulga o de ciência e tecnologia. Em uma das suas principais exposi es, o MAST propõe um olhar para os instrumentos e arquivos científicos como forma de reflexão da produ o do conhecimento no Brasil. Além do importante acervo do Observatório Nacional, a exposi o conta com um conjunto de documentos textuais e iconográficos de projetos importantes para a ciência brasileira.

2.2 Divulgadores

Os museus dessa categoria têm a missão de informar, educar e engajar o público sobre as descobertas essenciais da evolu o da ciência. A partir da apresenta o de fenômenos cotidianos, esses espaços esperam compor o conhecimento científico em conjunto com a sociedade,

⁶ Museu de Astronomia e Ciências Afins: www.mast.br/museu/ acesso em 04/07/2024.

desenvolvendo um pensar mais amplo sobre ciências. Também utilizam linguagem de fácil compreensão do público leigo e, assim, conseguem divulgar os avanços das pesquisas científicas que ocorrem no país.

Figura 2 - Museu da Vida.



Fonte: Acervo online Museu da Vida.

O Museu da Vida⁷, parte da Casa de Oswaldo Cruz (COC/Fiocruz), no Rio de Janeiro, é um centro de preservação da memória da Fiocruz que também trabalha em atividades de divulgação científica, pesquisa e ensino. Com a proposta de enxergar a ciência nos pequenos detalhes do dia-a-dia, o espaço oferece experiências para a popularização da ciência, mediando o diálogo entre laboratórios de pesquisa e pessoas diversas.

2.3 Espaços Colaborativos

Museus classificados nessa categoria são aqueles em que percebemos que o principal propósito é criar um espaço de conversa direta entre pesquisadores e educadores e a educação em si. Frequentemente com acervo limitado ou até mesmo sem acervo, estabelecem parcerias com outras instituições que oferecem oficinas, cursos e palestras. Por contarem com várias atividades distintas, a navegação pelo espaço se torna livre. A proposta de experimentos *hands-on* desenvolvidos pelos próprios pesquisadores e a divulgação científica são as principais atividades realizadas nesses museus.

Figura 3 - Várias instituições divulgam a ciência no Espaço Ciência Viva.

⁷ Museu da Vida: <https://www.museudavida.fiocruz.br/> acesso em 27/06/2024.



Fonte: Acervo online Espaço Ciência Viva.

O Espaço Ciência Viva foi fundado no Rio de Janeiro em 1982 por um conjunto de pesquisadores interessados em tornar o saber da ciência mais próximo do cotidiano da população. Eles promovem ações de divulgação científica, colaborações com universidades, centros de pesquisa e escolas do estado. Por meio de eventos como os “Sábados da Ciência” e as “Quartas de Olho no Céu”, integram a educação não-formal e formal das ciências.

2.4 Sensoriais

Os Museus Sensoriais buscam promover o aprendizado de matemática e ciências através de experimentos interativos e lúdicos. Os experimentos dispostos no acervo estimulam a participação do público utilizando vários sentidos. De ideias simples a complexas, as instalações levam os visitantes a acionar mecanismos, interagir com os equipamentos e explorar as ferramentas audiovisuais. Os espaços, sem ordem definida, oferecem autonomia individual ao visitante, para interagir com os experimentos que mais chamam a sua atenção.

Figura 4 - Experimento bolhas de sabão, Museu Catavento.



Fonte: Acervo online Museu Catavento.

O Museu Catavento, museu de ciência e tecnologia da Secretaria de Cultura e Economia Criativa do Estado de São Paulo, se divide em quatro seções que levam o visitante a experienciar o menor dos átomos ao maior planeta do sistema solar. Entre assuntos simples e complexos, o museu busca despertar a curiosidade pela ciência através de exposições interativas e atraentes. As 219 instalações disponíveis no museu contêm experimentos que atuam de maneira a instigar a percepção e criar, por meio das experiências, novos conceitos e ideias.

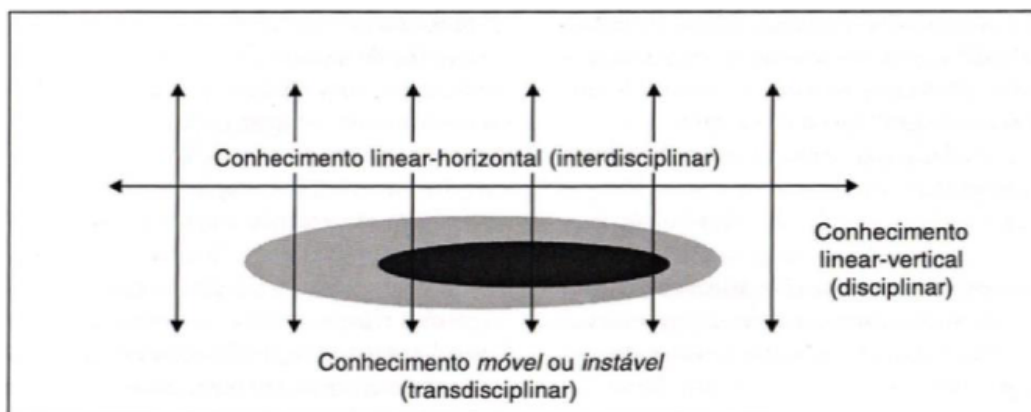
3 Museu, Espaço Transdisciplinar

A partir da observação das práticas museais contemporâneas, percebe-se que para estabelecer o relacionamento com o público, os museus estão buscando, cada vez mais, desenvolver um espaço que incentive a descoberta através do prazer (e da brincadeira). É possível considerar que todos os espaços investigados desenvolvem experiências que tratam de vários aspectos da vida cotidiana. Ao aproximar conceitos científicos da realidade de seus visitantes, os museus superam a fragmentação do conhecimento e evidenciam uma característica que é da natureza humana: a transdisciplinaridade.

Apesar do atual modo de pensar ser predominantemente cartesiano, em que as lógicas de ensino “se baseiam na fragmentação, descontextualização, simplificação, redução, objetivismo e dualismo” (SANTOS, 2005), os problemas cotidianos são resolvidos de maneira transdisciplinar. A natureza não se organiza de forma linear e a ciência especializada não explica a totalidade da realidade que vivemos. A transdisciplinaridade, portanto, incentiva a visão contextualizada do conhecimento, estimulando as conexões entre os saberes de diferentes áreas.

Diante da fragmentação e do caráter especializado do conhecimento, abordagens interdisciplinares, multidisciplinares e transdisciplinares buscam estabelecer elos entre disciplinas. Enquanto a interdisciplinaridade se refere à integração de disciplinas, olhando para um mesmo objeto de estudo e enriquecendo-se mutuamente, a multidisciplinaridade pressupõe o emprego de múltiplas disciplinas na solução de um problema, sem o enriquecimento mútuo. Já a transdisciplinaridade surge na integração entre disciplinas, considerando o que está entre, através e além, eliminando barreiras estáveis. A imagem abaixo mostra uma representação dos conceitos expostos. O Design como área de conhecimento também apresenta características inter, multi e transdisciplinares (BOMFIM, XX).

Figura 5 -Conhecimentos Disciplinar, Interdisciplinar e Transdisciplinar.



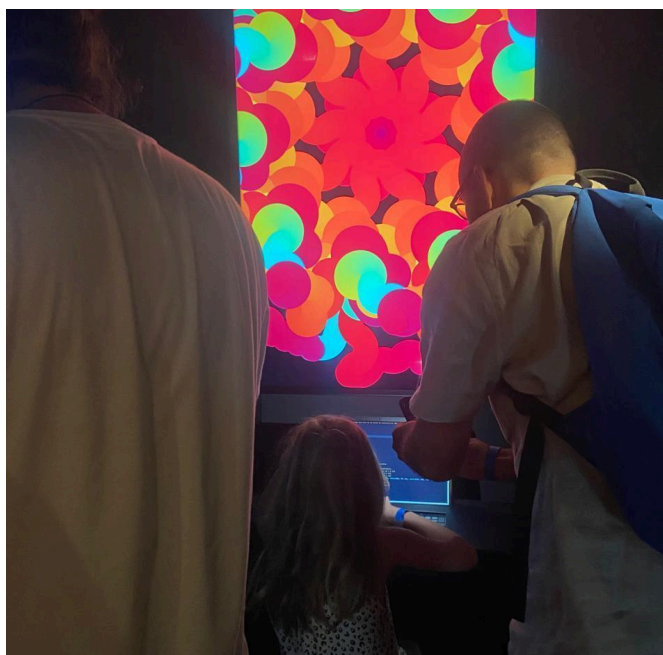
Fonte: BOMFIM, 1997.

A partir da observação multidisciplinar de uma situação concreta, os designers são capazes de projetar exposições (sejam físicas ou digitais) que têm a possibilidade de criar novos olhares sobre a utilização do conhecimento. Essas habilidades são evidenciadas no desenvolvimento de experiências com diversos tipos de interação, que auxiliam a reflexão e pensamento crítico do seu público.

Um exemplo de exposição que traz a conexão com várias áreas do saber e ainda estimula a contemplação do público sobre sua própria vivência é a “Arte do Código Aberto”⁸, do artista Vamoss, apresentada em 2024 no Museu do Amanhã no Rio de Janeiro. Na exposição, os visitantes foram convidados a manipular códigos já escritos pelo artista, muitos deles se baseiam em sistemas que simulam comportamentos físicos e biológicos. O visitante pôde, em tempo real, observar as mudanças causadas visualmente ao mudar uma função no código. Ao mesmo tempo que a experiência estimulou a criação de conexões com fenômenos observados na natureza, também evidenciou lógicas básicas que são utilizadas principalmente na matemática e na programação de computadores.

O momento atual é marcado pelo constante compartilhamento de informação, porém, não necessariamente essa difusão significa a construção de conhecimento científico. Essa afirmativa se mostra verdadeira quando a inclusão de novas tecnologias na vida das pessoas não é acompanhada pela compreensão do seu funcionamento. Dessa forma, a exposição, além de mostrar a influência dos computadores, aproximou as pessoas dos códigos que parecem escondidos no cotidiano, até mesmo na natureza.

Figura 6 - Visitantes em exposição “Arte do código Aberto”.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

⁸ Arte do Código Aberto: <https://museudoamanha.org.br/pt-br/content/arte-de-codigo-aberto> acesso em 27/06/2024.

Em 2022, iniciou-se o desenvolvimento de experiências de ensino voltadas à simulação de fenômenos físicos cotidianos a partir da programação criativa. Esses mesmos experimentos deram origem à oficina de Motion Design, já que as mesmas situações reais também são abordadas na área de animação. Assim como a exposição “Arte do Código Aberto”, inaugurada posteriormente ao momento da oficina, o elemento de interação dos participantes foi o código. Alterando certos parâmetros e observando a representação visual dos mesmos, torna-se possível a assimilação das descrições realizadas por diversas áreas sobre o fenômeno que observamos na vida.

Assim, essa pesquisa busca incentivar o comportamento transdisciplinar no desenvolvimento de experiências de ensino-aprendizagem. Procura reconhecer os diversos tipos de realidades e criar um diálogo entre as diferentes lógicas. Complementar a uma abordagem disciplinar, são utilizados elementos que unem as disciplinas a fim de oferecer uma nova visão que atravessa a categorização do conhecimento. A partir do final de 2023, busca-se criar um diálogo entre expressões artísticas e a prática e desenvolvimento das ciências biológicas e exatas, explorando formas naturais e suas descrições em variadas áreas de conhecimento a partir também da programação criativa.

4 Experiências de Ensino-Aprendizagem

Durante o estudo aqui relatado, na produção de experiências de ensino nos anos 2022 e 2023, foram utilizados os princípios da programação criativa, que possibilita novas formas de expressão e promove a criação de peças únicas que dialogam com o mundo tecnológico e interativo. A programação Criativa pode ser entendida como "o uso de tecnologia de forma criativa para gerar resultados artísticos e estéticos, sejam estes visuais ou multissensoriais" (DURÃO, NOVAES e BONELLI, 2022).

Como suporte, foi escolhida a linguagem de programação Processing⁹ e a plataforma de desenvolvimento de software OpenProcessing¹⁰. Processing é uma linguagem de programação desenvolvida inicialmente no MIT Media Lab por Casey Reas e Ben Fry que tem como objetivo facilitar o processo de programação criativa para Designers e Artistas. O OpenProcessing é um editor de código com características de comunidade online que permite a criação e compartilhamento de códigos. Com interface intuitiva e com recursos voltados para educação, é possível realizar o desenvolvimento de tutoriais que exibem o passo-a-passo dos códigos desenvolvidos, assim como a discussão dos assuntos que envolvem as experiências.

O primeiro experimento realizado explora uma situação cotidiana bem simples: uma bolinha quicando sobre uma superfície. O objetivo era observar o maior número de fenômenos e conceitos físicos presentes no cenário. A partir dessa premissa, o trabalho se voltou para estabelecer etapas que visualmente representassem as condições físicas criadas no código. Além disso, os textos dos tutoriais utilizaram uma linguagem simples e direta que não exige conhecimentos aprofundados e que evita a utilização de jargões científicos.

Figura 7 - A interface do *openprocessing* mostrando uma das telas do tutorial desenvolvido.

⁹ Processing: <http://processing.org> acesso em 24/06/2024

¹⁰ Plataforma openprocessing <https://openprocessing.org/> acesso em 24/06/2024.

```

mySketch
1  int altura;
2  int velocidade = 0;
3  int marcador = 0;
4  int gravidade = 0.3;
5  void setup() {
6    size(400, 400);
7    background(20);
8    y = height/4;
9  }
10
11 void draw() {
12   background(20);
13   noStroke();
14   fill(255, 128, 255);
15   ellipse(width/2, y, 50, 50);
16   y = y + velocidade + 0.5*gravidade;
17   velocidade = velocidade + gravidade;
18
19   if (y > (height-25)) {
20     velocidade = -1 * velocidade;
21   }

```

Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

Foi percebido também que a apresentação de um sistema físico através de experiências construídas com programação criativa dispõe o raciocínio em partes, auxiliando na correlação entre o real-físico e as operações matemáticas que o descrevem. As edições feitas em código e suas consequências podem ser observadas automaticamente através do visualizador da plataforma. Dessa forma, o projeto une conceitos de programação, de física e de matemática. Essa dinâmica facilitou a compreensão de fenômenos em tempo real na oficina de Motion Design, realizada no mesmo semestre. Os participantes se mantinham interessados nas consequências das alterações propostas no código. Ter um sistema que reage automaticamente à interação do público, em um ambiente museal, pode construir uma relação exploratória baseada na curiosidade, construindo conhecimento através do prazer.

Os outros experimentos desenvolvidos abordam diferentes situações: a bolinha quicando em mais de uma direção; uma mola se distendendo; e um pêndulo se movimentando. A abordagem em etapas permite sintetizar as descrições matemáticas em composições de fenômenos mais simples que, como módulos, constroem a estrutura complexa que é a realidade física. Assim, com esses experimentos lúdicos é possível explorar vários conceitos físicos básicos como posição, direção, sentido, velocidade, aceleração, e composição de movimentos em mais de uma dimensão.

4.1 A Visualização de Fenômenos Físicos

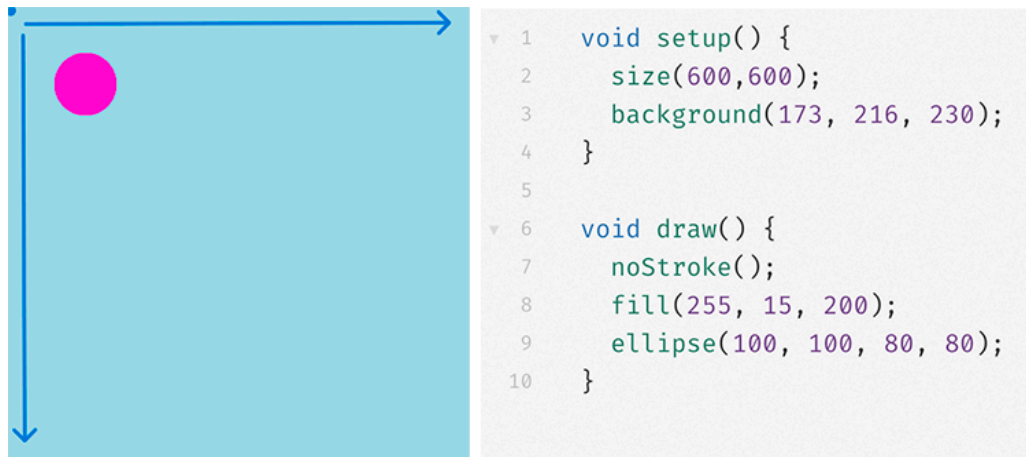
4.1.1 Posição

Posição é a determinação do lugar que um objeto ocupa. Para posicionar um objeto no espaço damos a ele três medidas: largura, profundidade e altura dentro de um determinado sistema. Podemos indicar a posição de uma lâmpada de rua dizendo que ela está a três passos à esquerda, cinco à frente e a seis metros de altura em relação a mim em um poste.

Uma noção importante que poucas vezes é compreendida quando falamos de posicionamento é a origem. Origem é o ponto de referência a partir do qual ditamos as distâncias do objeto. No exemplo anterior, a origem é o próprio sujeito que dá as direções. Em Processing, linguagem que tem a característica de reunir a programação com contextos visuais, uma das primeiras noções desenvolvidas é a da origem e, subsequentemente, a posição.

Neste ambiente de desenvolvimento, uma imagem, quando construída, é determinada pelo número de pixels que ocupa em uma tela. A origem (pixel (0, 0)) é disposta no canto superior esquerdo da tela, enquanto a posição dos outros elementos é demarcada pela distância a essa origem, de cima para baixo e da esquerda para direita.

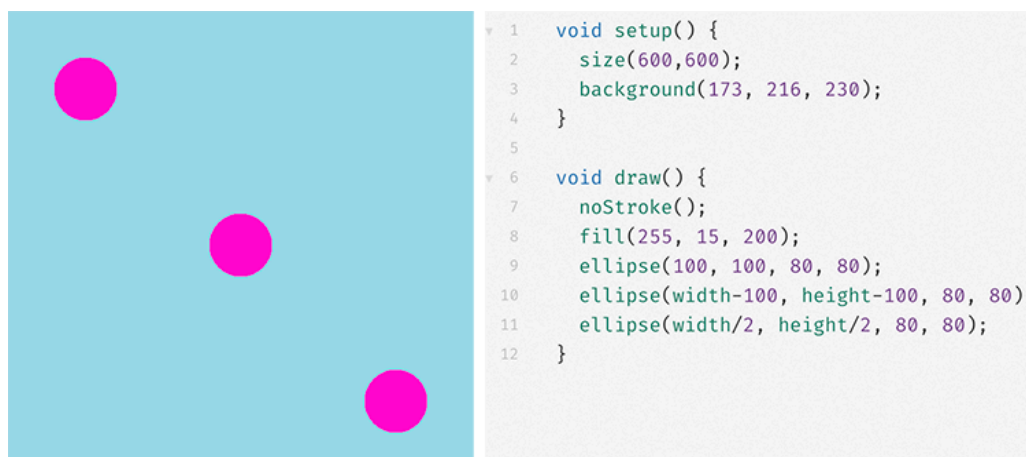
Figura 8 - Exemplo de código em Processing que cria uma elipse com largura e altura de 100 pixels, posicionada a 80 pixels da esquerda da tela, e a 80 pixels do topo da tela - função ellipse, na penúltima linha do código.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

Apesar de termos trabalhado com apenas duas dimensões, há duas habilidades desenvolvidas através da construção de uma origem e dois eixos: a composição vetorial e a distância relativa. Dessa forma, se os limites da tela superior e esquerdo são interpretados como eixos de sentido, construir uma diagonal não depende de muitos cálculos matemáticos, mas sim da percepção de que os objetos devem se posicionar em distâncias iguais a essas “paredes”. Além disso, um objeto no canto inferior direito pode ser pensado em relação ao final desse sistema.

Figura 9 - O código para o posicionamento diagonal de três elipses.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

Na física, fica perceptível que os conceitos são abordados de maneira incremental. No caso, não há como determinar a posição, se não estabelecermos um sistema de coordenadas. A

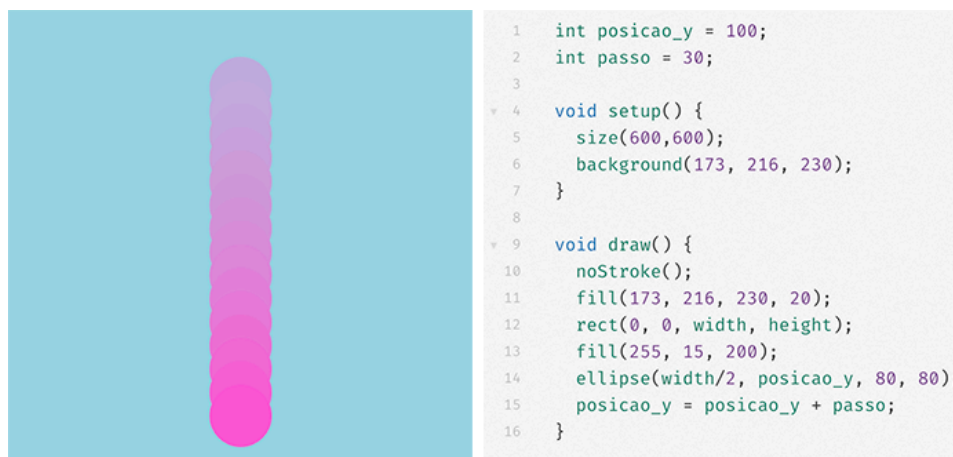
variação da posição dá origem a outro conceito físico que pode ser facilmente produzido de forma visual com programação: a velocidade.

4.1.2 Movimento

Em programação, a ideia de movimento não se constrói a partir de uma passagem explícita de tempo, mas com a ideia de loop, uma parte do programa que se repete sequencialmente. Um conceito similar também existe em produtos audiovisuais, um frame (quadro) é uma das imagens fixas que compõem o movimento da imagem.

Na física, o movimento só ocorre caso haja uma variação de posição durante um intervalo de tempo. Podemos, portanto, utilizar o tempo que um programa leva para completar um loop completo como unidade de tempo e a cada novo loop aumentar ou diminuir o valor da sua posição.

Figura 10 - A função void draw no Processing constitui um loop de programação. As linhas de código que estão entre as chaves {} após a função void draw são executadas repetidamente.

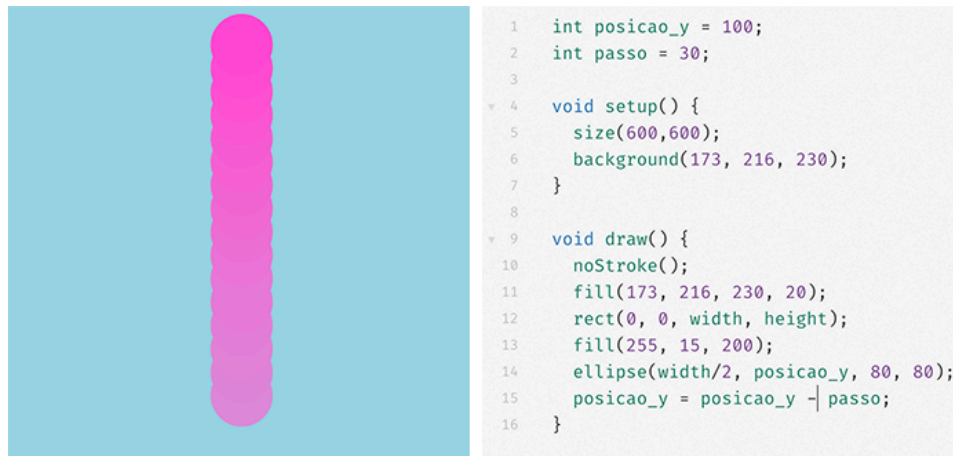


Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

Na imagem, podemos observar a variação da posição de uma bolinha em apenas uma direção. Ao somarmos 30 pixels na posição vertical da bolinha a cada loop criamos um movimento de cima para baixo. O que acontece quando diminuimos ao invés de somar? E se variamos a posição horizontal? Essas perguntas podem parecer simples e intuitivas de se responder agora que temos um exemplo visual e interativo, mas se perguntarmos a uma pessoa como representar matematicamente um carro se movimentando com velocidade constante pode haver dificuldade.

Apesar de já terem sido comentados, quando explicado o conceito de posição, os conceitos de direção e sentido ficam muito mais claros quando falamos de movimento. A trajetória da bolinha nesse caso forma uma reta, e dentro dessa reta podemos atribuir duas orientações, de cima para baixo e de baixo para cima (Figura 11). Chamamos essa orientação de sentido, e o mesmo pode ser dito da esquerda para direita, de uma esquina a outra.

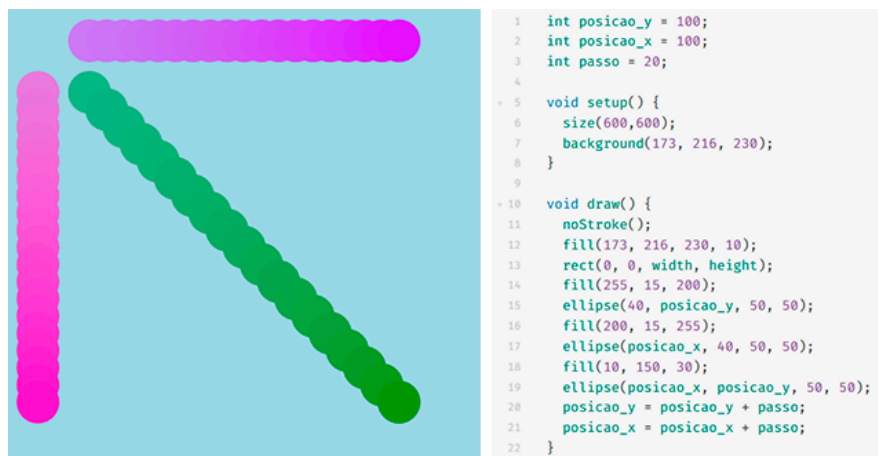
Figura 11 - Uma variação do código da figura anterior, mostrando a bolinha em uma trajetória com sentido contrário.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

Já a direção se refere à trajetória que esse movimento descreve, se é vertical, horizontal, diagonal, entre outras.

Figura 12 - Programação para deslocamento das elipses em diferentes direções.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

O movimento representado ainda pode ser caracterizado pela maneira com que essa variação de posição ocorre. No exemplo, a bolinha se desloca sempre com a mesma variação de posição em intervalos de tempo iguais, portanto, têm velocidade constante. Esse tipo de movimento é chamado de Movimento Uniforme e acontece quando andamos em passos iguais ou em um carro com velocidade constante.

4.1.3 Outros Experimentos

A partir do entendimento da noção de posição e movimento, é possível criar outras condições que se assemelham às reais por meio do código. Os objetos quando caem no chão encontram um limite que não podem ultrapassar, uma bolinha de borracha, por exemplo, tende a quicar de volta. Além disso, também pode-se compor o movimento em mais de uma direção. Não necessariamente apenas velocidades uniformes diferentes podem dar origem a movimentos

distintos. Aceleração em apenas uma das direções de movimento ou até mesmo nas duas direções podem causar as mais variadas trajetórias.

Por meio da modificação de certos parâmetros, foi possível dar origem a novos conceitos físicos, onde mesmo que seus efeitos sejam intuitivos, pouco sabemos descrever em termos matemáticos o que aconteceu. Outras experiências de ensino-aprendizagem podem seguir essa maneira de relacionar uma experiência cotidiana com conceitos físico-matemáticos e códigos de programação a partir de um passo-a-passo da construção do movimento.

Figura 13 - Exemplos de movimentos compostos abordados nas experiências de ensino-aprendizagem. Na primeira imagem um movimento oblíquo, na segunda um movimento circular e sua relação com movimento oscilatório.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

4.2 Workshop de Motion Design

No primeiro semestre de 2023 foi desenvolvida uma oficina para alunos do curso de design da PUC-Rio com objetivo de introduzir e demonstrar os fenômenos físicos e sua relação com os campos da matemática, programação e do Motion Design. A área de Motion Design não foi apenas escolhida por representar, diferentemente da física, os fenômenos físicos reais, mas também porque um interesse conhecido dos alunos de design levou à suspensão do receio do aprendizado de conhecimentos na área de exatas, guiando a prática através do prazer. Partindo dos tutoriais desenvolvidos na plataforma Openprocessing, foi proposta uma investigação dos elementos fundamentais para a programação criativa (formas básicas, variáveis, condicionais e loops) que, atrelados ao seu contexto visual, transformam as condições físico-matemáticas em movimentos na tela.

A experiência de ensino-aprendizagem “bolinha quicando” foi apresentada em sala para os participantes. A cada etapa, em conjunto com a consulta do tutorial, uma explicação verbal era realizada e um tempo para compreensão era disponibilizado para escreverem e interagirem com os efeitos propostos.

Figura 14 - O workshop ministrado pela bolsista no laboratório LIFE.

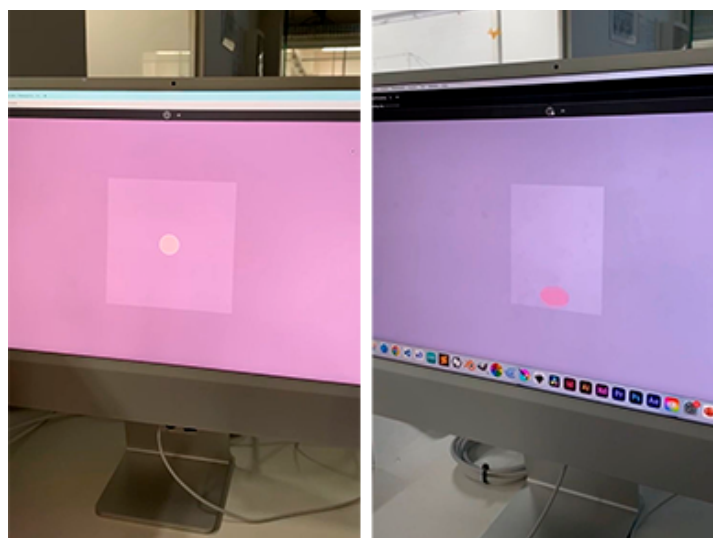


Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

Os alunos, a partir dos passos da atividade, foram incentivados a editarem com certa independência o código proposto (cor, tamanho, posição, formatos e até mesmo novas condições foram estimuladas a serem modificadas ou construídas). A partir da experiência pessoal, os participantes puderam lidar com os efeitos físicos que cada comando diferente trazia e relacioná-los com a realidade em que vivem. Os parâmetros físicos também foram comparados com aspectos de outras áreas, um instante foi igualado a um frame, por exemplo.

Apesar do acontecimento ser comum, o saber da experiência é singular. “Se a experiência não é o que acontece, mas o que nos acontece, duas pessoas, ainda que enfrentem o mesmo acontecimento, não fazem a mesma experiência” (LARROSA, 2002). A proposta de permitir que cada aluno fizesse a assimilação do conteúdo de forma única trouxe o compartilhamento dos conhecimentos entre os alunos de forma voluntária, contribuindo para a discussão em conjunto dos fenômenos.

Figura 15 - As imagens mostram a diferença dos experimentos de dois participantes do workshop. Cor, tamanho e forma são únicos.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2023.

Além disso, o interesse no processo de ensino-aprendizagem de lógicas criadas nos sistemas de ciências exatas surgiu a partir da exposição das suas relações com certos elementos das artes visuais. Ao relacionar os conceitos físicos com a prática do design, os alunos se tornaram mais suscetíveis a quebrar a barreira que existe em aprender ciências exatas, criando associações sobre um ponto de vista próprio. O aprendizado heterogêneo, propiciado pelas diferentes experiências, também contribuiu para a utilização de códigos em comum a diversos campos, unificando, em uma visão mais ampliada, elementos descritos de maneiras diferentes pelas disciplinas abordadas na oficina.

5 Artes e Matemática

A partir da curiosidade humana sobre os fenômenos da natureza, foram criados sistemas formais para nos deixar entender, classificar e explorar os padrões que se apresentam. A matemática interpreta a natureza assim como as artes. Nas duas, existe uma série de elementos que podem ser relacionados, como por exemplo linhas, curvas ou formas.

A relação entre matemática e artes sempre existiu em diversos períodos históricos. Em construções desenvolvidas na Idade Antiga e na exploração da perspectiva em pinturas renascentistas, é possível observar como a arte foi fortemente influenciada pelas novas descobertas das ciências exatas e vice-versa. A física, até o século XX, se dedicava à descrição de fenômenos objetivos observados, movimentos, materiais e forças. Com a emergência da mecânica quântica, novas visões subjetivas e complementares para o estado da luz (onda e partícula) aproximaram a física das questões também discutidas na arte.

A física preocupou-se, em vez disso, com a arena objetiva do movimento, das coisas e das forças. Esta diferença entre arte e física confunde-se à luz das surpreendentes revelações apresentadas pelos físicos quânticos que emergiram da fusão dos aspectos contraditórios da luz ... Assim, a "subjetividade", o anátema de toda a ciência (e a fonte criativa de toda arte) teve que ser admitido na cidade cuidadosamente defendida da física clássica. (SHLAIN, 1991)

Vitz e Glimcher (1984) propuseram que avanços tanto nas ciências exatas quanto nas artes são frequentemente correlatas e se originam de expressões simultâneas sobre a mesma realidade. As similaridades não podem ser tratadas como coincidências, uma vez que:

Muitas vezes as duas obras ocorrem mais ou menos ao mesmo tempo, e frequentemente os comentários do artista deixam claro que houve influência da ciência visual ou que o artista por conta própria descobriu os mesmos fenômenos visuais que os cientistas contemporâneos estavam investigando. (VITZ e GLIMCHER, 1984)

O medo de uma abordagem interdisciplinar causado em alunos e professores provém do estado de desagregação, fragmentação e fechamento do sistema educacional atual. A barreira para aprender matemática, por exemplo, acontece como uma resposta a situações envolvendo problemas matemáticos que são percebidos como diminuidoras de autoestima. Ao se basear em problemas que se resumem a memorização e não encorajam uma maneira de interpretar e representar o mundo em que vivemos, o ensino limita o raciocínio e a criatividade do estudante. O ensino de artes também sofre da mesma maneira. Geralmente crianças e pré-adolescentes, apenas ao se depararem com limitações técnicas, deixam de desenhar. Porém, a habilidade de observar, interpretar e criar imagens não é apenas intuitiva, ela também pode ser aprendida juntamente com a possibilidade de expressão artística.

Com os saberes em expansão, entretanto, objetiva-se cada vez mais formar profissionais capazes de não apenas se aprofundar em conhecimentos de sua própria disciplina, mas também criadores de novas formas de entender e dialogar com diversos campos de estudo. Um projeto de ensino que traz a conexão entre duas áreas ditas distintas como artes e matemática pode enriquecer as experiências de aprendizagem. Experimentos propostos também podem levar ao desenvolvimento de um vocabulário que conversa com as duas disciplinas, criando a habilidade de discutir sobre esses assuntos. Além de criar novas visões únicas, com a capacidade de entender fenômenos com um olhar transdisciplinar.

6 Experiências de Olhar Transdisciplinar

No último semestre da pesquisa, buscou-se, a partir do conhecimento a respeito do ensino, da compreensão e prática de ciências e seus diálogos com experiências artísticas, explorar as diferenças e semelhanças da representação da natureza em artes e matemática através de instalações interativas buscando a abordagem transdisciplinar.

Para a produção dessas experiências interativas, foram identificados elementos existentes na natureza que são frequentemente representados tanto no campo das artes como no campo das ciências exatas. Foi percebido que certos padrões naturais se assemelham às figuras geométricas dos fractais, como a ramificação de árvores e o surgimento de afluentes de rios. Outras expressões na natureza podem ser associadas a funções parametrizáveis, como as pétalas de uma flor ou as ondas formadas na água. Os experimentos, portanto, consistem em explorar as formas naturais, os objetos matemáticos e a comunicação artística por meio da programação criativa, já que apesar de envolverem disciplinas diferentes, retratam a mesma realidade e têm códigos em comum.

Ainda baseados nos princípios de programação criativa, como suporte, inicialmente foi utilizada a linguagem de programação Processing Javascript - *p5.js*¹¹, uma derivação da linguagem Processing, utilizada anteriormente, que oferece como vantagem um prático editor online. No editor é possível fazer testes rápidos, com visualizações geradas por meio de diversas representações matemáticas. Esse recurso foi principalmente utilizado assim que certa correlação entre expressão artística, fenômeno natural e representação matemática era feita pela pesquisadora, verificando, por exemplo, a possibilidade de realização e modificação do experimento.

Posteriormente, entendendo que a criação de algumas experiências demandava a criação de gráficos mais complexos, o OpenFrameworks¹² também foi utilizado como uma ferramenta adicional. O OpenFrameworks consiste em uma biblioteca gráfica desenvolvida na linguagem C++, que possibilita um ambiente de experimentação mais intuitivo para designers. Pela linguagem de programação C++ ser uma linguagem de baixo nível, o OpenFrameworks é mais rápido no processamento e permite a criação de elementos gráficos mais elaborados.

Os novos experimentos, além de abordarem diversos sistemas de representação da natureza, trazem em si as noções básicas comuns às áreas da física, matemática, design e programação criativa desenvolvidas nas experiências de ensino-aprendizagem. O olhar, porém, dessas novas experiências busca a apreensão da realidade por meio de diversos aspectos, tentando atenuar as barreiras que são impostas entre os diferentes campos especializados e

¹¹ Para mais informações: <https://p5js.org/> acesso em 12/07/2024.

¹² Para mais informações: <https://openframeworks.cc/> acesso em 12/07/2024.

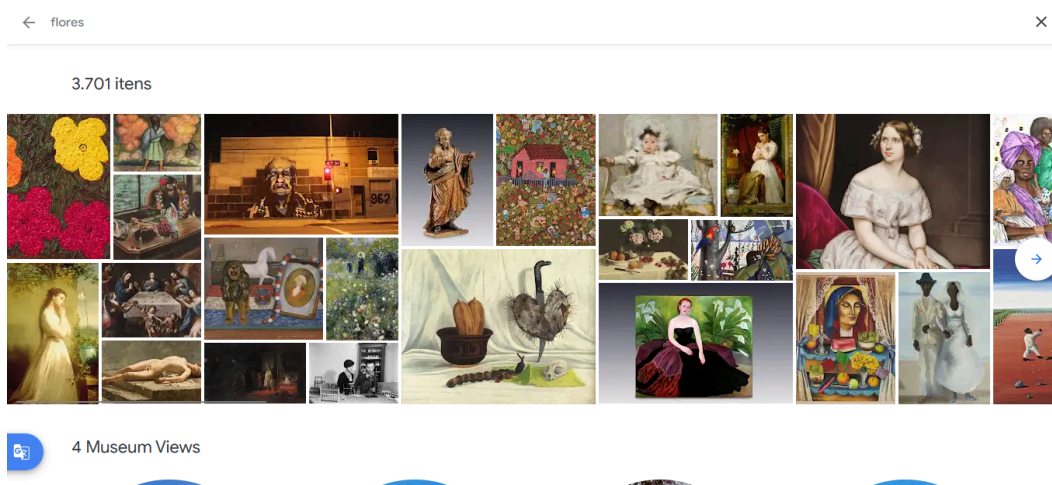
aproximando os elementos de diálogo. Não se pretende obter nem propor uma descrição científica ou artística, mas a criação do conhecimento por meio de relações criadas intuitivamente, assim como observadas no workshop oferecido no semestre anterior.

6.1 Flor e Funções Parametrizáveis

Ao longo da história, artistas e matemáticos foram inspirados pelas formas, cores e padrões das flores encontradas na natureza. O objetivo desse experimento foi relacionar as observações feitas por artistas com o entendimento de funções matemáticas parametrizáveis. É observado como a utilização da descrição matemática, sem se prender a ela, pode contribuir para a reflexão sobre porque certos padrões são tão frequentemente reinterpretados em diversas obras.

Um padrão é a repetição de um ou alguns elementos. A simetria, muitas vezes observada nas obras de arte e na natureza, é um dos indicativos da relação entre arte, física, matemática e natureza. As espirais, por exemplo, estão presentes não apenas nas formas naturais menores, mas também são formas visuais encontradas na observação do universo, em galáxias. Em obras investigadas pela plataforma Google Arts and Culture¹³, a presença floral, mesmo nas representações mais abstratas, é reconhecida pela maneira que pétalas se distribuem em torno de um eixo.

Figura 16 - Pesquisa “flores” em Google Arts and Culture.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

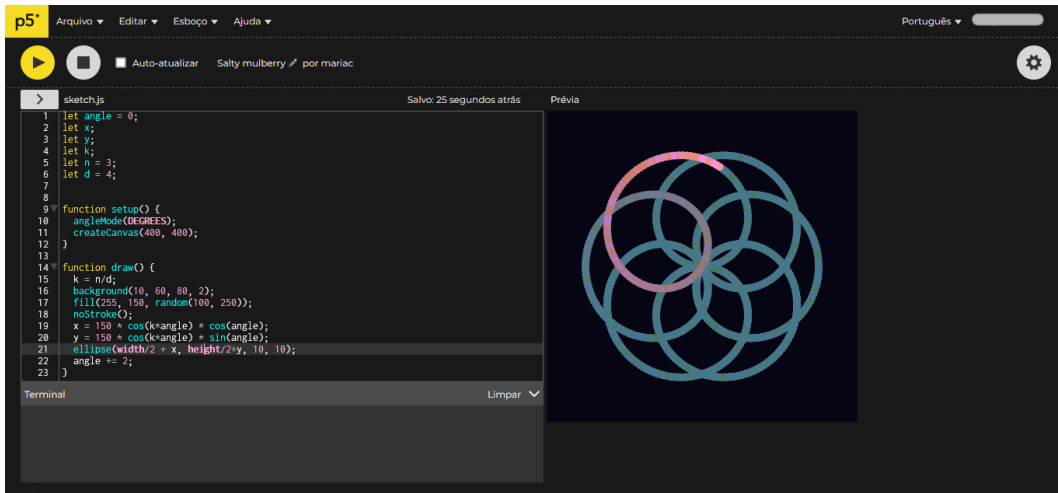
Na matemática, as curvas de rosas polares, ou *rhodoneas*, são conhecidas com esse nome por darem origem a gráficos que se parecem com flores de várias pétalas. Por ser uma função paramétrica, permite a construção da forma geométrica por meio de ponto a ponto. Assim como o conceito de posição apresentado nos experimentos anteriores, cria uma interpretação e descrição espacial do objeto que observamos na realidade.

Foi observando a característica geométrica das flores de protuberâncias, que surgem radialmente de um mesmo ponto e se repetem, que Luigi Guido Grandi tornou-se o primeiro a descrever a curva no séc. XVIII. A mesma curva, por ser uma função composta de curvas senoidais

¹³ Plataforma de arquivos de museus e instituições: <https://artsandculture.google.com/> acesso em 12/07/2024.

– que também caracterizam o movimento oscilatório – o movimento de construção das pétalas ponto a ponto se assemelha ao ritmo de vários outros fenômenos, seja ele o de uma mola, o de nossa respiração ou o do movimento das marés. Dessa maneira, foram desenvolvidos experimentos em p5.js que tiveram como objetivo aplicar a função matemática da curva de rosas na criação de desenhos com características estéticas de exploração de cor, traço, forma e movimento.

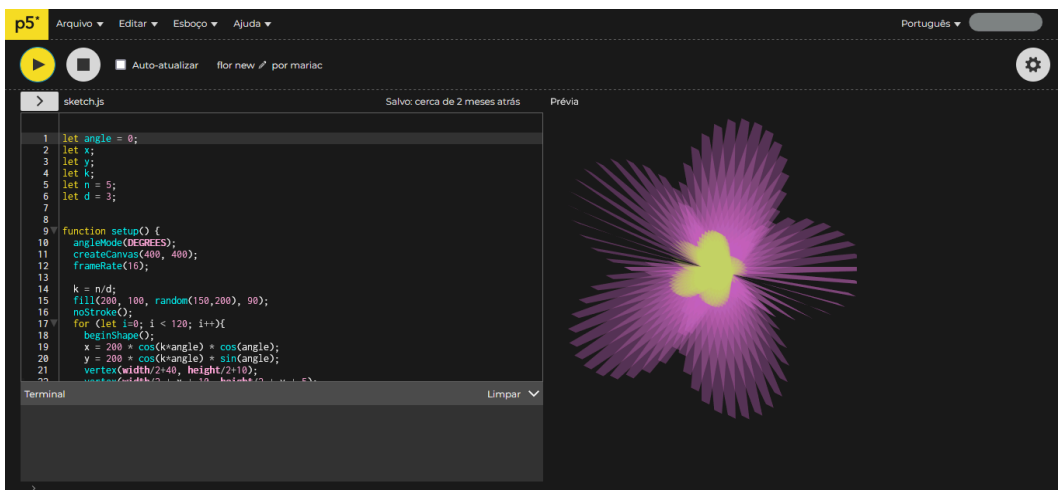
Figura 17 – Primeiro desenho da curva de rosas em interface do editor online do p5.js.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

A mesma função ainda pode ser quebrada e transformada em outras pequenas formas geométricas que, em conjunto com escolhas estéticas de composição, dão origem a novas interpretações artísticas e matemáticas da realidade. Na imagem abaixo, a forma é composta de vários paralelepípedos que contém a origem e o ponto dado pela função, o mesmo processo de fragmentação que dá característica mais orgânica à imagem e cria áreas de mais ou menos saturação de cor deu origem aos primeiros estudos de cálculo diferencial e integral.

Figura 18 - Desenho da curva de rosas em interface do editor online do p5.js. São adicionados pontos para a formação da imagem através de diversos polígonos.



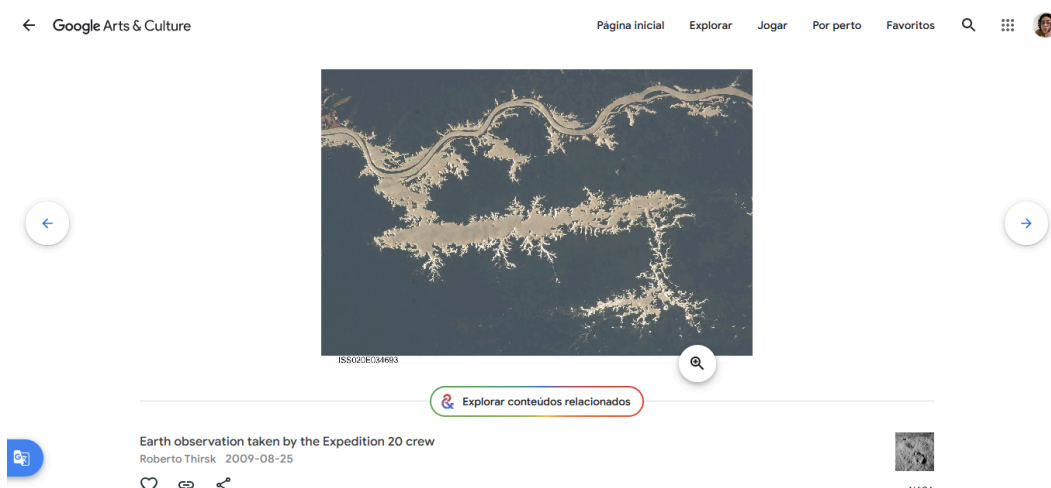
Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

6.2 Afluentes e Fractais

Fractais são uma geometria fragmentada em que seus segmentos são aproximadamente uma forma reduzida da geometria toda. Quando observamos os galhos nas árvores, os caminhos dos raios ou veias em nosso corpo, a geometria de formas básicas, triângulos, quadrados e círculos, sozinha não é suficiente para descrever matematicamente esses fenômenos da natureza. “As nuvens não são esferas, as montanhas não são cones, os litorais não são círculos e a casca não é lisa, nem os relâmpagos viajam em linha reta.” (MANDELBROT, 1977).

O matemático Benoit Mandelbrot, criador do termo fractais em 1975, afirma que diversos campos da ciência, como a turbulência, foram representados nas artes por meio da repetição do desenho de uma mesma forma, porém o tratamento geométrico só foi utilizado na matemática muito tempo depois. A fim de relacionar essa característica de fragmentação e repetição da natureza, foi escolhido olhar para os rios da região Amazônica que, através da reflexão da luz do sol, revelam a aparência fractal de seus afluentes.

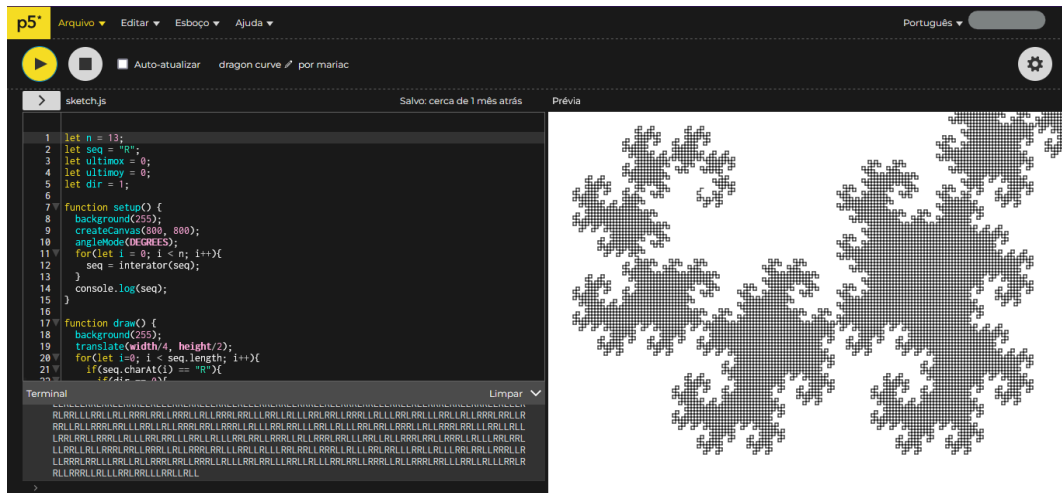
Figura 18 - O Lago Erepecu e o Rio Trombetas no Brasil em interface *Google Arts and Culture*.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

A curva de dragão, assim como outros fractais, é construída através da recursão de uma regra sobre resultados sucessíveis. Para criá-la, é preciso começar com um segmento, e a cada nova iteração, é realizada uma cópia da forma rotacionada em 90°, sendo essa anexada à curva no início da segmentação. Essa característica de geometria quebrada, mas que mesmo assim se comporta de maneira organizada e previsível, é utilizada não apenas em obras que procuram descrever a natureza de forma mais realista, mas também por designers, que utilizam padrões recursivos da natureza para organizar informações em diversas mídias.

Figura 19 - Desenho da curva de dragão em interface do editor online do *p5.js*.



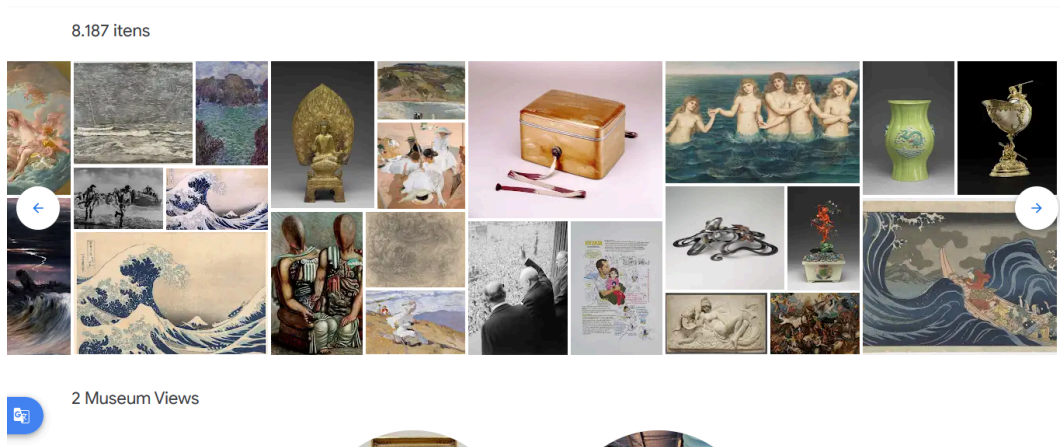
Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

6.3 Ondas

A onda, um distúrbio oscilante do equilíbrio, é encontrada em vários fenômenos físicos cotidianos, seja nas ondas do mar, na vibração do som ou até mesmo na vibração de moléculas que compõem toda a matéria. O objetivo desse experimento foi observar a propagação de ondas em duas direções, evento que se assemelha às perturbações da água quando uma pedra é jogada na sua superfície. Foi escolhido esse exemplo principalmente por demonstrar a característica circular do movimento, relacionando as questões estéticas às cristas e aos vales produzidos em um desequilíbrio e por procurar entender quando essa característica é utilizada ou não na sua representação visual.

Na plataforma Google Arts and Culture é observado que as obras mais famosas relacionadas ao termo “onda” são as pinturas de Hovhannes Aivazovsky ou a gravura Katsushika Hokusai. Essas, criadas no séc. XIX, retratam as correntes e ondas do mar em períodos de tempestades, por exemplo. Esses fenômenos parecem desconexos da explicação física-matemática de ondas, mas ao perceber a diferença de alturas no corpo d'água e da sensação de vai e vem de quem está dentro de um navio, relações podem ser estabelecidas. O mesmo pode se dizer sobre os efeitos de luz e sombra desenhados pelos artistas que mostram as oscilações da água.

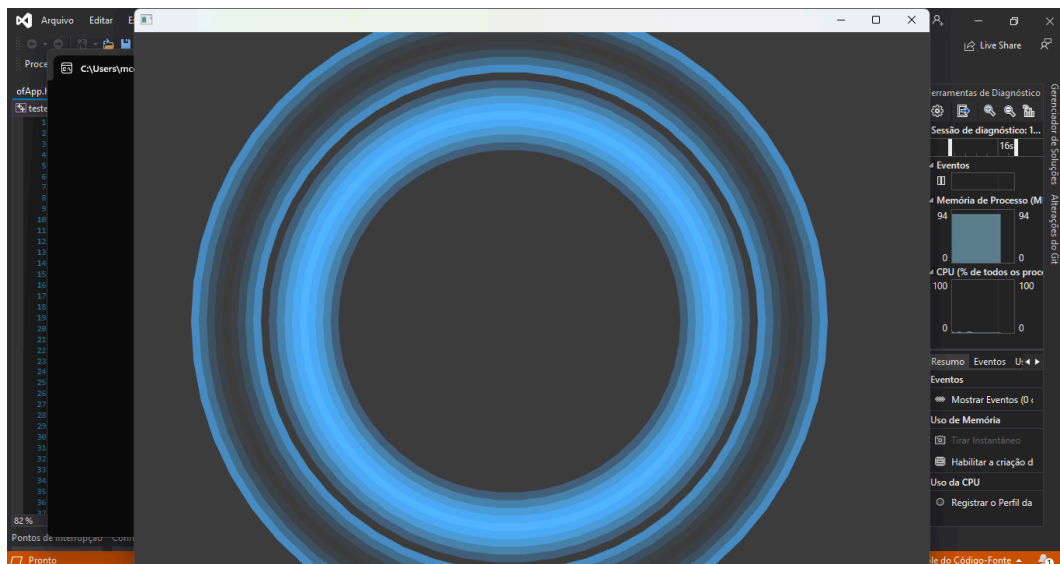
Figura 20 - Pesquisa “ondas” em *Google Arts and Culture*.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

Assim como a curva de rosas, movimentos oscilatórios podem ser simulados através de funções senoidais. Essas funções não influenciam apenas o formato da onda, no exemplo apresentado na Figura 21, mas nesse caso, ditam a opacidade de cada seção. Quanto menor a opacidade, mais fundo essa faixa estaria do nível natural da água; quanto mais azul, mais próximo. Novamente o fenômeno é fragmentado para ser simulado, neste caso em faixas radiais de mesmo centro. São notadas regiões em que a opacidade é mínima e outras em que o valor chega em seu máximo, comportamento natural de todos os tipos de onda.

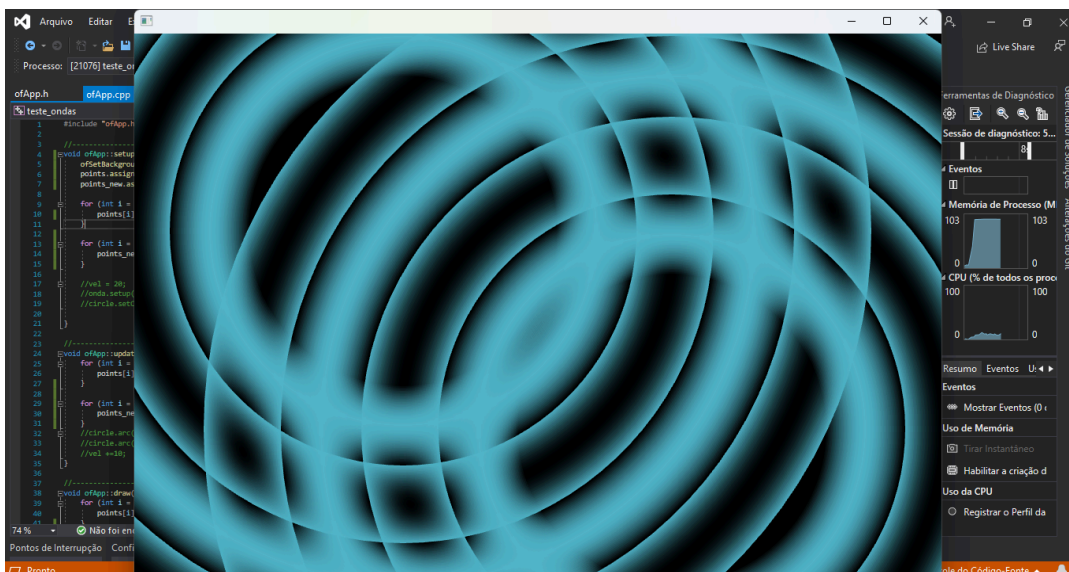
Figura 21 – Primeiro desenho de ondas em interface do editor online do *p5.js*.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

Padrões de interferência gerados por mais de uma onda podem ser explorados artisticamente. É perceptível a formação de faixas em que a opacidade somada das duas ondas chega ao seu máximo e para esse fenômeno é dado o nome de interferência construtiva. Alterando-se o número e posição dessa onda, além de outros eventos serem observados, novas proposições visuais são obtidas.

Figura 22 – Último desenho de ondas em interface do editor online do p5.js. Padrões de interferência podem ser observados de acordo com os pontos de opacidade máxima.



Fonte: Acervo da pesquisadora, 2024.

7 Conclusões

A definição de museus vem constantemente se atualizando conforme as transformações da sociedade. A categorização realizada permitiu que observássemos as principais características e a relação que os museus e casas de ciências contemporâneos estabelecem com o seu público. Esses espaços evidenciam a característica transdisciplinar da vida humana ao relacionar o conhecimento científico ao cotidiano dos seus visitantes.

Da mesma forma, o desenvolvimento de experimentos didáticos e interativos possibilitou analisar seus funcionamentos e aplicabilidade em museus e exposições. Entendendo o ambiente museal como um espaço que permite que o visitante esteja mais livre e que a aquisição de conhecimentos venha através da descoberta e do prazer, as experiências elaboradas dialogam com esse espaço, propondo uma maneira de pensar em ciências que propicia o aprendizado heterogêneo, incentivando tanto as discussões em grupo quanto as observações individuais.

Entende-se que apesar dos sistemas de representação e descrição da realidade sempre coexistirem e se influenciarem mutuamente na história da humanidade, a fragmentação do conhecimento com o modo de pensar cartesiano incentiva a visão descontextualizada dos saberes. A partir das experiências realizadas foi possível observar as representações da realidade diante das lentes de diversas disciplinas. As investigações evidenciaram a importância do desenvolvimento de dinâmicas que permitam a criação de relações entre disciplinas em experiências de ensino-aprendizagem.

Verificou-se que abordagens transdisciplinares incentivam novas formas de entender uma mesma situação. Além disso, as conexões criadas entre as disciplinas de ciências exatas e humanas levam ao desenvolvimento de profissionais capazes de relacionar, analisar e criar novos significados para os tópicos apresentados, participando de maneira ativa no processo de aprendizagem.

8 Referências

- BOMFIM, Gustavo. **Fundamentos de uma Teoria Transdisciplinar do Design: morfologia dos objetos de uso e sistemas de comunicação**. Estudos em Design V.V. n.2, 1997
- BONELLI, João de Sá. **Prática Reflexiva em Interfaces Físicas: Uma Proposta de ensino Aprendizagem de Design de Interação**. 2016. 178 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Design da PUC-Rio Rio de Janeiro. 2016.
- COSTANTIN, Ana Cristina Chaves. **Museus interativos de ciências: espaços complementares de educação?**. Interciencia, Caracas, 2001, vol. 26, núm. 5, p. 195-200, maio 2001.
- DURÃO, Guilherme; NOVAES, Luiza; BONELLI, João. **Ensino de programação criativa aplicado à prática do estudante de design**. XXX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da PUC-Rio, 2022.
- GRANDI, Guido. **Flores geometrici ex Rhodonearum, et Cloeliarum curvarum descriptione resultantes, quos unà cum novi expeditissimi Mesolabii auctario... d. Guido Grandus**. Typis Regiae Celsitudinis, 1728.
- JARVIS, Daniel; NAESTED, Irene. **Exploring the math and art connection: Teaching and learning between the lines**. Brush Education, 2012.
- LARROSA, Jorge. **Notas sobre a experiência e o saber de experiência**. Revista Brasileira de Educação, n. 19, Abr. 2002.
- MACHADO, Tatiana Gentil. **Projeto expográfico interativo: da adoção do dispositivo à construção do campo da interatividade**. 2015. 252 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2015.
- MANDELBROT, Benoit B. **The fractal geometry of nature**. New York: WH Freeman, 1982.
- REIS, Andréa de Lennhoff Pereira. **Interdisciplinaridade, participação, colaboração e imersão: Design e narrativas museais na contemporaneidade**. 2021. 207f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Design, do Departamento de Artes & Design da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2021.
- SANTOS, Akiko. **O que é transdisciplinaridade**. Periódico Rural Semanal. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.
- SCHÖN, Donald. **The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action**. New York: Basic Books, 1983.
- SHLAIN, Leonard. **Art & Physics: Parallel Visions in Space, Time, and Light**. New York: Harper Perennial, 1991.
- VITZ, Paul C.; GLIMCHER, Arnold B. **Modern art and modern science: The parallel analysis of vision**. New York, NY: Praeger, 1984.