

06

**O ESPAÇO-TEMPO COMO PERCEPÇÃO
GEOMÉTRICA DA REALIDADE NA FICÇÃO
CONTEMPORÂNEA¹**

Diego Addan Gonçalves

*Recebido em 30 nov 2021.**Aprovado em 08 abr 2022.***Diego Addan Gonçalves**

Pós-doutorando em Ciências da Computação, pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

Doutor em Ciências da Computação, pela Universidade Federal do Paraná, 2019.

Professor do Centro Universitário Autônomo do Brasil - UniBrasil, Curitiba - Paraná.

Membro do Grupo de Trabalho Interhad do Instituto de Computação da Unicamp.

Email: diegoaddan@gmail.comLattes: <http://lattes.cnpq.br/2245885012377389>ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3355-3966>

Resumo: Os conceitos de modelagem espaço-temporais estão bem definidos nos campos da geometria e matemática, com representações tridimensionais consolidadas como o Tesseract, ou hipercubo. Embora estas representações funcionem em ambientes baseados em coordenadas espaciais, mesmo na computação e matemática, um objeto quadridimensional ainda varia de contexto e aplicação. Ainda mais desafiador é imaginarmos uma realidade com estas características aplicadas a

1 Título em língua estrangeira: Space-time as geometric perception of reality in contemporary fiction”

experiências visuais e a navegação em um ambiente deste tipo. Este trabalho investiga as representações espaço-temporais observadas nas artes e literatura contemporânea aplicada na representação ou descrição de realidade, analisando seu paralelo com as modelagens 4D computacionais apontando como este tipo de ambiente pode ser corretamente descrito e as limitações narrativas aplicadas a estes objetos. A discussão apresentada neste trabalho tem como objetivo apontar como os conceitos de objetos quadridimensionais se apresentam na cultura contemporânea, e como estas descrições podem caminhar com as descobertas computacionais.

Palavras-chave: Quadridimensionalismo. Espaço-temporal. Realidade 3D. Surrealismo. Quarta dimensão.

Abstract: The concepts of spatiotemporal modeling are well defined in the fields of geometry and mathematics, with consolidated three-dimensional representations such as the Tesseract, or hypercube. Although these representations work in environments based on spatial coordinates, even in computing and mathematics, a four-dimensional object still varies in context and application. Even more challenging is to imagine a reality with these characteristics applied to visual experiences and navigation in such an environment. This work investigates the spatiotemporal representations observed in contemporary arts and literature applied to the representation or description of reality, analyzing its parallel with computational 4D modeling, pointing out how this type of environment can be correctly described and the narrative limitations applied to these objects. The discussion presented in this work aims to point out how the concepts of four-dimensional objects are presented in contemporary culture, finally pointing out how these descriptions can walk besides computational discoveries.

Keywords: Four-dimensionalism. Spatio-temporal. Reality 3D. Surrealism. Fourth dimension.

INTRODUÇÃO

Segundo as definições matemáticas, nosso mundo e sua percepção é tridimensional por natureza, já que temos a percepção de profundidade aplicada a imagens bidimensionais enviadas ao nosso cérebro. Se cada imagem respeita um plano Cartesiano com largura e altura (sendo os eixos x e y), cabe a nós, a partir de associações e padrões, identificar a posição e profundidade de cada ponto de interesse (a partir do eixo z). Estas regras tridimensionais são implícitas e automáticas, devido ao nosso poder de reconhecimento de padrões e aprendizado que funcionam de maneira parecida aos algoritmos computacionais de mesmo nome.

Este aprendizado é possível pelo fato de vivermos em uma realidade matematicamente 3D, que respeita rigorosamente todas as regras destas geometrias. Apesar disso, conseguimos hoje imaginar e simular representações quadridimensionais, já que é natural calcular camadas e eixos cada vez maiores e por sua vez vértices e arestas que correspondam a estes novos dados (ERWIG, 1998, p. 1); (IVSON, 2018). Desta forma, um cubo 3D pode ser estendido para um Hiper cubo, que nada mais é do que o objeto original com arestas ligando todas as suas extremidades no mesmo objeto deslocado em uma nova posição. Assim, podemos simular corretamente n -dimensões, algo recorrente em representações poligonais ou em *voxels*, estruturas formadas por volumes (HAOZHE, 2018).

O desafio então, é imaginar estes mesmos objetos existindo no mundo real, já que limitados pelas regras tridimensionais de nosso mundo as percepções destas representações seriam fragmentadas

ou incompletas. Este trabalho investiga como representações quadridimensionais aparecem na cultura contemporânea como percepção visual da realidade, através de objetos espaço-temporais. A partir da análise apresentada neste trabalho será apontado como as representações espaço-temporais podem extrapolar criativamente os conceitos geométricos, respeitando as regras estabelecidas matemática e computacionalmente para estas realidades.

REPRESENTAÇÕES E PERCEPÇÕES DA REALIDADE A PARTIR DA QUADRIDIMENSIONALIDADE

Um dos campos de conhecimento que explora mundos não tridimensionais é o campo das artes. Sejam em pinturas, esculturas, simulações ou na literatura de ficção, é comum encontrarmos interpretações e experimentações de uma quarta dimensão.

No conto “Sonhos na Casa da Bruxa” (LOVECRAFT, 2018, p. 145) o protagonista encontra em seu quarto um ângulo impossível, que leva a outro ambiente observável somente através de um ponto específico do ambiente.

Tal passo, disse ele, exigiria apenas duas etapas: primeiro, uma passagem para fora da esfera tridimensional que conhecemos e, segundo, uma passagem de volta para a esfera tridimensional em outro ponto, talvez um de infinito afastamento. Que isso pudesse ser realizado sem perda de vidas, em muitos casos, era concebível. Qualquer ser de qualquer parte do espaço tridimensional provavelmente poderia sobreviver na quarta dimensão; e sua sobrevivência no segundo estágio dependerá de que parte alienígena do espaço tridimensional ela pudesse selecionar para sua reentrada; podemos ser capazes de viver em outras

fases dimensionais semelhantes de outros contínuos espaço-temporais habitáveis - embora, claro, deva haver um grande número de mutuamente inabitáveis, matematicamente corpos justapostos ou zonas do espaço. (LOVECRAFT, 2018, p. 145)

A descrição da cena reflete aos conceitos apresentados na seção anterior, onde um ambiente 4D, quando desmontado para um plano 3D nada mais seria que superfícies 3D conectadas por suas extremidades. Uma representação de um ambiente assim, no entanto, é impossível visto que as superfícies seriam interpoladas não podendo ocupar o mesmo espaço tridimensional de representação. No conto o protagonista, ao identificar o ângulo na superfície nova, consegue atravessar para a outra superfície que, deslocada de uma regra temporal, o faz perder sentidos de direção e percepção da realidade. Embora seja apenas uma provocação do autor, é interessante observarmos que, de fato, se pudéssemos nos deslocar de uma faceta tridimensional para outra, alinhada temporalmente, mas não espacialmente, nosso senso de direção e percepções seriam afetadas.

No filme *Relíquia Macabra* (2020) temos um exemplo de como a navegação em um ambiente 4D poderia ser percebida. Embora a história do filme seja uma alegoria a doenças degenerativas do cérebro e seu impacto nas pessoas próximas, sua roupagem de horror transforma o ambiente em que a história se passa em uma casa que, em um primeiro momento, parece viva. Em determinada passagem uma das personagens descobre um cômodo que leva para novas áreas onde a estrutura e distribuição da casa parece ser alterada a cada curva que a personagem adentra. Uma vez que nossos olhos, habituados a uma visualização 2D, interagem com

um ambiente 3D, traçamos padrões com base em perspectivas e distanciamento entre pontos de interesse e conseguimos nos localizar e guiar. Caso fossemos inseridos em um ambiente 4D, nossos olhos poderiam ser enganados aplicando padrões e regras de um espaço euclidiano tridimensional que, quando aplicado em um espaço quadridimensional nos daria a percepção de paredes surgindo e desaparecendo, deslocamento de eixos, entre outras quebras de estrutura espacial as quais estamos acostumados. O filme retrata algo parecido quando a personagem se encontra em espaços onde a perspectiva é instável e até mesmo os eixos espaciais são alterados de uma sala para a outra.

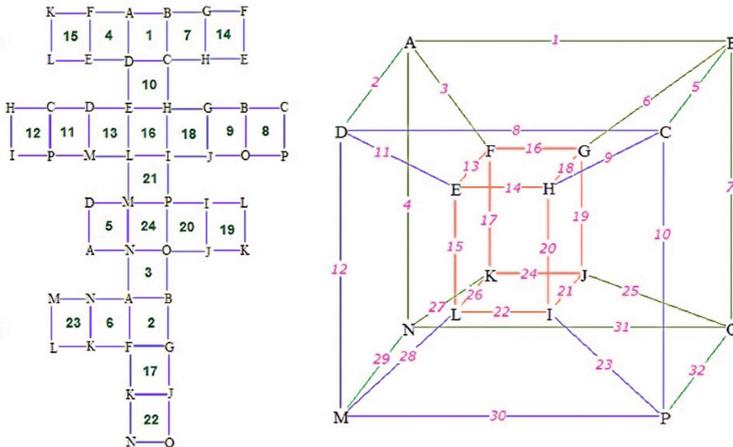
Este tipo de cenário também está presente no conto “O jardim de veredas que se bifurcam” de Jorge Luis Borges (2007), em que o personagem deve atravessar um labirinto em forma de jardim a fim de encontrar uma casa em seu centro. A história serve para nos colocar, como observadores passivos, em um labirinto capaz de desorientar com seus caminhos que parecem não levar a um centro e tampouco a uma saída. A cada nova iteração fica claro a estrutura irregular e humanamente confusa do ambiente proposto pelo autor, que discute a percepção humana que naturalmente se perde em seus aninhamentos de escolhas e ações sempre em busca de um centro, mas rumando a um infinito desordenado (ou ao menos representado em uma ordem não mapeada).

O interessante na estrutura borgiana utilizada no texto é que os caminhos se conectam temporalmente, mas podem ser acessados não linearmente, tornando a temporalidade dos acontecimentos algo desassociado das regras espaciais. O personagem pode escolher um caminho entre todos os futuros

que já existem e o labirinto não garante um ponto final já que determinados caminhos podem levar a passados percorridos ou não. Em virtude disto o jardim do texto parece não ter centro, já que espacialmente ele não segue convenções tridimensionais e a visualização de uma estrada não representa a mesma malha de realidade que um vislumbre bidimensional pode sugerir.

Este mesmo exercício de imaginação está presente no conto “And He Built a Crooked House” de Robert A. Heinlein (1966) organizado na coletânea *Time Probe*. Sendo o autor um matemático, este conto apresenta a história de um grupo de pessoas presas em uma casa construída com a topologia de um *Tesseract* quadridimensional que funciona em forma de “cruz dupla invertida”, tendo oito quartos cúbicos, dispostos como uma pilha de quatro cubos com mais quatro cubos envolvendo o segundo cubo na pilha (Figura 1). A descrição do interior da casa é um cubo onde cada porta parece levar diretamente a outro cômodo, impedindo os personagens de saírem da casa ou mapearem o cenário. Conforme se aventuram no interior da casa, os personagens percebem suas próprias costas projetadas em uma saída, assim como ambientes diversos visualizados em uma perspectiva distorcida como a ponte de um prédio projetada no teto de um cômodo. Essa percepção bizarra se dá ao fato de que as faces sobrepostas não revelam uma topologia tridimensional, fazendo com que essa casa seja de fato incompreensível aos padrões espaciais aos que estamos habituados (AFLALO, 2008, p. 78).

Figura 1: Modelo de Quintus Teal utilizado no conto “And He Built a Crooked House” de Robert A. Heinlein onde um grupo de pessoas se encontram presas em uma casa que funciona como um objeto 4D



Fonte: Figura do autor.

Alessandra Capanna (2020) define a geometria quadridimensional matematicamente, aproveitando as projeções da figura geométrica na dimensão inferior, tomando como seção visível a perspectiva 3D. A autora entende que os arquitetos, por exemplo, estão acostumados a desenhar o espaço que imaginam por meio de projeções ortogonais, portanto, a ver o espaço 3D através de sua projeção 2D em planta e seção. Além disso, a percepção do espaço físico na arquitetura é experiencial. Isso significa que embora o sentido da visão seja capaz de captar os personagens geométricos, figurativos e estéticos, em última instância a harmonia das formas, a qualidade do ambiente construído é percebida com todos os sentidos, em uma abordagem dinâmica, como uma sequência contínua de espaço-eventos demonstrando assim a consistência da realidade da arquitetura espaço-tempo, ou 4D. A autora apresenta a consistência geométrica

de características multidimensionais de uma série de arquiteturas em que o conceito e a imagem de geometria dimensionalmente interpretam o pensamento arquitetônico do século XXI, através de representações 4D de espaços físicos (CAPANNA, 2020).

A forma com que a autora projeta as construções 4D segue a mesma modelagem utilizada por Heinlein. A autora apresenta conceitos de uma Casa Quadri-Dimensional completada por uma longa anotação que diz como andar nesta casa, como segue:

Vou pela porta oeste; você vai no leste. Caminho pelo corredor e entro na segunda sala à direita no andar térreo; você sobe um lance e pega o primeiro quarto à esquerda. Encontramo-nos na mesma sala, a que tem a vidraça. (você está um andar acima de mim, mas nós também estamos na mesma sala; estamos, portanto, também no mesmo andar?) Para você, o painel inferior direito está quebrado; para mim, o mais à direita. (pois você está em ângulo reto comigo). Se você não pudesse ver o meu lado de entrada da casa, nem eu o seu, você diria que era uma casa de três andares, enquanto eu diria que era um Edifício de 2 pisos; é claro que ambos estamos corretos. Somente o conhecimento da dimensão adicional de ambas as partes resolveria uma contradição aparentemente insolúvel! (CAPANNA, 2020, p. 04)

A autora cita construções que unem os conceitos de quadridimensionalidade à arquitetura, como um pavilhão que consiste em quatro formas geométricas básicas - um círculo, uma cruz, um hexágono, um retângulo - unidos e envoltos em uma membrana translúcida. O pavilhão tem quatro faces de formatos diferentes. Cada forma é uma planta baixa em potencial. Cada planta lateral é precisamente projetada para organizar uma

instalação de evento diferente, criando um edifício com quatro identidades. As paredes se transformam em pisos e pisos em paredes conforme o pavilhão era virado por três guindastes após cada evento para configurar o próximo.

Outro exemplo é um espaço projetado em base hexagonal que foi transformado em um cinema de base retangular. Nesta arquitetura temporária, a mudança de referências horizontais/verticais pode ser assimilada a uma sequência quadridimensional. Uma das características de viver em um ambiente quadridimensional está relacionada à questão da posição de dentro para fora, de cima para baixo. A autora projeta ainda uma sequência de seis cubos, combinados ou inseridos um dentro do outro, que possuem bordas de aço. Os cubos não têm paredes, nem pavimento, nem tetos, nem mesmo face transparentes. Esta mesma descrição espacial é utilizada por Alan Moore na obra *Do Inferno* (2014), onde o assassino Gull se vê singrando a quarta dimensão como um observador deslocado de limitações tridimensionais.

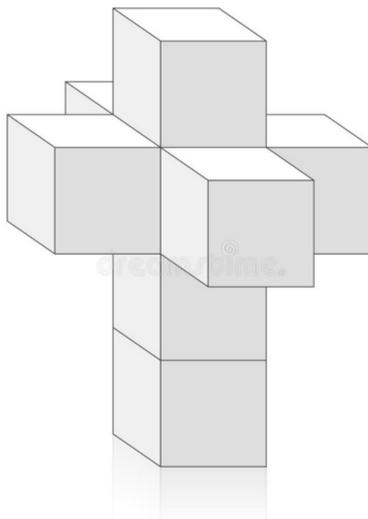
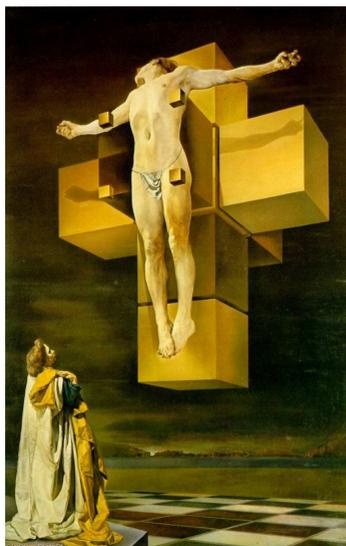
Neste espaço as pessoas podem cruzar livremente todas as superfícies porque a geometria dos cubos é construída apenas por meio das arestas. Além disso, pode-se assumir qualquer posição, inclusive de cabeça para baixo, porque algumas das superfícies em falta são substituídas por uma rede elástica semi transparente na qual é possível permanecer em qualquer posição.

Estas construções extrapolam os conceitos matemáticos para criar uma simulação visual, uma vez que para funcionar de forma geometricamente correta, uma estrutura quadridimensional seria impossível em um mundo tridimensional. Artisticamente, no entanto, estas representações são bastante interessantes fazendo

o paralelo de perspectiva com o uso de ângulos espelhados e da estrutura em si através das arestas construídas pela armação vazia.

O modelo topológico descrito por Heinlein pode ser visualizado na pintura a óleo sobre tela *Crucifixion* (também conhecida por *Corpus Hypercubus*) de Salvador Dalí (1954). O pintor é conhecido por suas obras surrealistas que discutem as percepções da realidade distorcendo aspectos como perspectiva e proporção, e utilizando texturas e elementos fantásticos que apresentam ideias metafóricas de elementos reais. Em *Crucifixion*, Dalí mostra um retrato não tradicional e surrealista da crucificação de Jesus, onde Cristo é retratado na rede poliedro de um hipercubo octaédrico desdobrado (um cubo quadridimensional ou *Tesseract*), a mesma configuração apresentada em modelagens matemáticas (Figura 2).

Figura 2: A obra *Corpus Hypercubus* de Salvador Dalí (DALÍ, 1954), e a estrutura de um *tesseract* (à direita)



Fonte: [https://pt.artsdot.com/@@/5ZKEMW-Salvador-Dali-Crucifica%C3%A7%C3%A3o-\(-corpo-hiperc%C3%BABico-\)](https://pt.artsdot.com/@@/5ZKEMW-Salvador-Dali-Crucifica%C3%A7%C3%A3o-(-corpo-hiperc%C3%BABico-).). Acesso em: 08 fev. 2022.

Na pintura, é claro, o objeto está dobrado, representando o formato próximo de uma cruz formada por cubos. O que torna este objeto de fato 4D, demanda um processo imaginativo onde podemos supor que faces interpoladas estão escondidas pela perspectiva representada. Assim, a mesma representação do conto de Heinlein poderia ser observada caso o objeto fosse desdobrado. No decorrer da década de 40, Dalí se interessou pela ciência nuclear, chegando a estudar modelos matemáticos e pesquisas dentro do campo da física, sendo sua principal inspiração para esta obra o trabalho de Juan de Herrera representado em *Treatise* em formas cúbicas que descreve de forma abstrata um cubo dentro de um espaço de palavras geometricamente dispostas em forma de outro cubo, sugerindo um tesseract com ferramentas representando os eixos cartesianos. Para Dalí, a pintura representa Cristo explodindo em um movimento conhecido como misticismo nuclear, que provoca se a ciência e religião podem coexistir. Assim, a figura divina em estilo clássico contrasta com a cruz geométrica cubista, onde são incluídos elementos do tradicional surrealismo presente nas obras do artista como os cubos controladores posicionados à frente da imagem de Cristo. Pode-se destacar ainda a figura de Maria Magdalena que segundo Dalí representa a união perfeita entre o desenvolvimento do octaedro hipercúbica ao nível humano do cubo, contrastando com o Cristo que aparece sem detalhes, vestimenta complexa, feridas ou distrativos parecendo um terceiro elemento desassociado do humano e do científico, configurando assim o místico que dá nome ao movimento.

Marc Ten Bosch aplica sua modelagem para objetos n-dimensionais em seu jogo chamado Miegakure. No jogo os

objetos são posicionados com uma representação quádrupla, tornando sua relação espacial quadridimensional (BOSCH, 2020). O desafio neste caso não está na implementação em si, uma vez que para o processamento computacional pouco importa quantos eixos dimensionais estão sendo calculados. Logo, o que torna a experiência interessante é a visualização e navegação em um mundo onde os objetos possuem 4 pontos de posicionamento espacial enxergando assim apenas três dimensões de quatro, já que sua estrutura gráfica é 3D poligonal.

O exercício que o autor propõe é pensar nesta visualização em como seria ver apenas duas dimensões das três usuais. Só veríamos dentro de um espaço 2D plano, como tirar uma fatia 2D de um mundo 3D, por exemplo, uma esfera, onde nesse caso seria vista apenas como um círculo com sua área maior ou menor dependendo da posição do objeto 3D e da fatia visualizada. Basicamente, estamos fazendo cortes transversais da esfera, como fatiar uma maçã em fatias finas. O mesmo ocorre em uma dimensão superior, onde temos seções transversais 3D de objetos 4D.

Para conseguir simular esse tipo de estrutura o autor modelou cada objeto utilizando uma estrutura 4D. Se para construir um modelo 3D iniciamos de uma base 2D, por exemplo, um hexágono, e fazemos uma extrusão de seus vértices a partir disso, o autor modelou fazendo extrusão de uma base 3D, por exemplo, um dodecaedro 3D. Assim, o mapa virtual é construído de tiles 4D, ao invés de um mapa formado de tiles 3D, ou seja, partes de uma estrutura conectada que forma o ambiente.

Tamkó publica em 1936 o *Manifeste Dimensioniste*, que descreve um caminho linear de tendência Dimensionista

presente na arte onde: Artes literárias abandonam a dimensão de linha e adentra a dimensão de plano; A pintura sai do plano e adentra na dimensão do espaço; A escultura sai da dimensão de espaços fechados e imóveis; A conquista artística do espaço quadridimensional representa totalmente uma arte-livre (TAMKÓ, 1936). Este manifesto, endossado historicamente por vários artistas ao longo do tempo, interpreta de forma bastante direta a evolução espacialmente artística dos gêneros de representação cultural. Se na literatura a única dimensão presente são as letras, preenchemos muitas das informações espaciais com a imaginação. Nas artes pintadas temos uma representação de espaço, ou seja, temos preenchida de forma prática as informações de cenários, cores, texturas, objetos e outros elementos físicos, ainda que limitados em uma representação 2D. Não temos que imaginar proporções e distâncias já que as imagens 2D complementam essas ideias. Esculturas, então, libertam a expressão artística da limitação espacial cartesiana, adicionando profundidade e volume, nesse caso adicionando interpretações 3D de objetos e ideias.

O manifesto então cita a arte quadridimensionalista como livre de espaços fechados e imóveis, adicionando a dimensão temporal, ou de movimento. Isso de fato está alinhado com a visão matemática e computacional de um objeto 4D. Se as representações apresentadas nesta seção sugerem representações artísticas de um objeto 4D, até então o uso do conceito de vermes temporais apresentado anteriormente na filosofia quadridimensionalista também está presente em representações artísticas, onde o movimento é associado à projeção física.

Um dos exemplos mais clássicos desta visão está na obra de Marcel Duchamp, artista associado ao movimento dadaísta. Duchamp apresentou em sua evolução artística interesse por temas do cubismo que consideravam transição, mudança, movimento e distância (DUCHAMP, 1912, p. 1). Em sua última fase criativa o artista passou a representar a quarta dimensão em suas obras. O movimento espaço-temporal em seu trabalho é chamado de paralelismo elementar onde objetos são representados temporalmente distorcidos pela sequência linear de movimento. Os objetos são representados como esticados, ou distorcidos por uma sequência de ações interpoladas pintadas como um único objeto, paralelo à definição de partes-temporais da filosofia quadridimensionalista (SIDER, 2003).

Uma representação bastante direta desta ideia está na pintura *Nude Descending a Staircase* (DUCHAMP, 1912), na qual observamos um corpo descendo uma escadaria na forma de movimento, pintado como uma única figura que sequencialmente sugere uma ação espacial observada por um intervalo temporal. Embora abstrato, na pintura podemos observar uma representação geometricamente correta, por exemplo, nas pernas da pessoa pintada, onde as partes que se movimentam mais rapidamente aparecem esticadas e mais extensas do que partes estáticas do corpo. A escada, por sua vez, aparece com a representação visual normal, já que está estática. Assim, a quarta dimensão diz respeito à maneira como dois tipos de percepção trabalham juntos quando interagimos com objetos ou pessoas no espaço. Os cubistas, movimento do qual Duchamp fez parte, pintaram seus temas baseados não em como viam os objetos, mas no que sabiam deles, de múltiplas perspectivas.

Não só o movimento é utilizado para definir uma arte quadridimensionalista. A representação de múltiplas perspectivas alinhadas em uma única cena, utilizada no movimento artístico do Cubismo, sugere uma visualização 4D, defendida por autores como Pablo Picasso e o matemático Henri Poincaré que apontam uma visualização espaço-temporal como a de todas as perspectivas de uma cena apresentadas de uma única vez. Estas ideias partem da inspiração do livro do matemático Esprit Jouffret chamado *Elementary Treatise on the Geometry of Four Dimensions* de 1903 que apresenta como hipercubo e outros objetos com mais de três dimensões podem ser representados em um plano cartesiano. Este tipo de arquitetura geométrica está presente em representações contemporâneas como na representação do mundo virtual em código visto em *Matrix* (1999) ou no cubo Tesseract visto em *Capitão América: O Primeiro Vingador* (2011). Os efeitos do acesso a imagens ou informações 4D por pessoas poderiam variar, já que a percepção espacial sem referências conhecidas leva a associações particulares que serviriam de âncora geográfica, em uma situação hipotética de acesso a uma experiência não-tridimensional, na melhor das hipóteses (OGMEN, 2020, p. 65); (OH, 2011, p. 122).

Esta representação de movimento em um plano 2D pode ser visualizado tridimensionalmente em ambiente virtual ou através de esculturas, que incluem profundidade a fatia visualizada da parte-temporal a qual o objeto simula. O artista e matemático Henry Segerman cria esculturas que representam geometrias e formas não-euclidianas, como a visão *wireframe* do Tesseract apresentado nas seções anteriores, com a ideia de observarmos objetos geométricos formados por padrões fractais

ou estruturas aramadas que simulam as arestas de um objeto 4D seguindo as modelagens tradicionais matemáticas. Este tipo de representação, claro, é bastante limitada já que a observação de arestas conectadas é, indiscutivelmente, uma forma 3D se as faces estão ausentes.

Desta forma, uma escultura quadridimensional, limitada as regras físicas do nosso mundo, e não só de nossa visão, pode ser criada com o propósito de representar movimento (BOTTERELL, 2004), como nas esculturas do artista Peter Jansen onde movimentos de ações humanas como uma caminhada, ou gestos, são representados como uma sequência de braços conectados do ponto inicial ao final da ação. Este tipo de representação, claro, não torna a escultura um objeto categoricamente 4D já que para isso deveríamos ter cada ponto do objeto conectado em cada momento da parte temporal representada, o que deixaria o aspecto muito mais abstrato e menos humanoide, como na escultura *Unique Forms of Continuity in Space* do artista Umberto Boccioni.

Ainda, se considerarmos que a parte temporal não é a pessoa em movimento mas todo o reflexo de consequências espaciais que uma ação gera, sua representação 4D seriam os deslocamentos espaciais na fatia temporal conectados pelo contexto, o que torna uma representação de movimento bastante complexa. Este tipo de visualização é bastante comum em representações espaço-temporais na computação gráfica como malhas de ações humanas, ou movimento extraído de vídeos (SAKHALKAR *et al.*, 2018). Tais malhas geométricas normalmente são formadas de estruturas 3D tradicionais formadas por triângulos, mas representam formas em movimento, sendo a mesma ideia aplicada nas esculturas de

Boccioni, e pode ser estendido a cenários ou grupos de objetos relacionados ao contexto de uma cena.

Um dos artistas contemporâneos que utilizam geometria quadridimensional em sua arte é Tony Robbin. Ele insere a complexidade da geometria quadridimensional e programação de computador aplicado às artes na obra *Fourfield: Computers, Art, and the Fourth Dimension* (1992). O autor combina um uso parametrizado de cor com princípios matemáticos e formas geométricas alinhadas de quatro e seis lados, por exemplo, que remete a malhas 4D desdobradas. Em uma de suas obras, *Fourfield*, o autor acrescenta hastes tridimensionais que se estendem da superfície da tela, representando pares de projeções isométricas dos oito cubos do hiper cubo criando uma projeção 2D. Enquanto o observador caminha de uma extremidade para a outra, as linhas pintadas e as hastes de metal branco, ambas sombras do hiper cubo, mudam e se transformam, imitando as distorções que ocorrem nas projeções da rotação planar do hiper cubo no espaço quadridimensional.

Estas obras não se diferem das pinturas discutidas anteriormente, ou mesmo dos modelos puramente computacionais, extrapolando artisticamente os conceitos espaciais de pontos de interesse conectados temporalmente onde as estruturas abstratas nada mais são do que sequências de objetos tridimensionais observados por uma fatia de evento específica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A representação de objetos n-dimensionais, como apresentado, é parte crescente da nuvem de ideias que estão incluídas em

nossa cultura. Assim como mundos tridimensionais tornaram-se algo comum a partir da década de 1980 sendo incluídos no cinema e entretenimento de forma orgânica, podemos imaginar que representações dimensionais mais complexas vão passar a aparecer com maior frequência em simulações ou visualizações de dados, representações artísticas e extrapolações científicas. Embora hoje alguns conceitos estejam bem estabelecidos, no que tange a representação de objetos 4D, sabemos que o termo é usado livremente para representações diversas espalhadas nas muitas áreas de conhecimento. E isso é bom. Faz parte de nossa expressão como ser humano imaginar e demonstrar conceitos abstratos ou puramente matemáticos, sendo um grande fomentador na inclusão da ciência prática em obras filosóficas ou artísticas. Disso, representações cada vez mais curiosas e interessantes tendem a surgir, movimentando as formas como enxergamos as artes.

Se antes, um quadro 3D (seja virtualmente com realidade aumentada ou fisicamente com tecnologias hápticas) evoluiu a forma como observamos uma tela, sem tirar o valor das pinturas bidimensionais, representações mais complexas de artes em 4D podem agregar nossa forma de observar e interpretar as coisas à nossa volta, justificando a inserção de tais conceitos nas artes. Assim como nas dimensões, as possibilidades então são ilimitadas.

Assumindo isso, podemos concluir sem muita discussão que é impossível observarmos uma escultura puramente 4D como nas modelagens apresentadas até aqui, já que nossa visão seria implicitamente uma fatia tridimensional deste objeto, exceto em ambiente virtual onde a interpolação invisível pode ser rotacionada para visualização sem as restrições espaciais do mundo real.

Novas representações multidimensionais são apresentadas em diversas obras de ficção, pendendo pelo lado artístico, mas seguindo as modelagens discutidas. Cabe ao propósito de cada representação artística definir quais regras matemáticas devem ser arbitrariamente ignoradas a despeito de nossa limitação biológica de visualizar materialmente objetos deslocados no tempo, condição que não existe ao nível do pensar.

REFERÊNCIAS

- AFLALO, Tyson Nian; GRAZIANO, Michael. Four-dimensional spatial reasoning in humans. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, n. 34 v. 5, p. 1066–1077, 2008.
- BOSCH, Marc Ten. N-dimensional rigid body dynamics. *ACM Trans. Graph*, n. 39, v. 4, 2020.
- BORGES, Jorge Luis. *Ficções*. Editora Companhia das Letras, 2007.
- BOTTERELL, Andrew. Temporal Parts and Temporary Intrinsic. *Metaphysica*. p. 1-19, 2004.
- CAPANNA, Alessandra. Thinking Architecture in Four Dimensions. *Faces of Geometry*. From Agnesi to Mirzakhani. Lecture Notes in Networks and Systems, v. 88. Springer, Cham. 2020.
- DALÍ, Salvador. *Corpus Hypercubus*. Oil on canvas. Metropolitan Museum of Art, New York City. 1954.
- DUCHAMP, Marcel. *Nude Descending a Staircase*. Oil on canvas, 57 7/8 x 35 1/8 (151.8 x 93.3 cm). Philadelphia Museum of Art. 1912.
- ERWIG, Martin; GUTING, Ralf; SCHNEIDER, Markus; VAZIRGIANNIS, Michalis. Abstract and discrete modeling of spatio-temporal data types. *International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*. New York, ACM, p. 131-136, 1998.
- ESPRIT, Joffret. *Traité élémentaire de géométrie à quatre dimensions et introduction à la géométrie à n dimensions*. Paris: Gauthier-Villars. 1903.

HAOZHE, Xie; HONGXUN, Yao; XIAOSHUAI, Sun; SHANGCHEN Zhou. Weighted voxel: a novel voxel representation for 3D reconstruction. *International Conference on Internet Multimedia Computing and Service*. Article 33, p. 1–4, 2018.

HEINLEIN, Robert. *Time Probe: The Sciences in Science Fiction*. Editora: Delacorte. 1966.

IVSON, Paulo; NASCIMENTO, Daniel; CELES, Wwaldemar; BARBOSA, Simone. CasCAdE: A Novel 4D Visualization System for Virtual Construction Planning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, n. 1, v. 24, p. 687-697, Jan. 2018.

LOVECRAFT, Howard Phillips. *Contos 2*. Editora Martin Claret. 2018.

MOORE, Alan. *Do Inferno*. Editora Veneta. 2014.

OH, Eunji; LEE, Minkyong, LEE, Sujin. How do 4D effects cause different types of presence experience?. *Association for Computing Machinery*, New York, p. 375–378, 2011.

OGMEN, Hideo; SHIBATA, Kyo; YAZDANBAKHS, Ariad. Perception, Cognition, and Action in Hyperspaces: Implications on Brain Plasticity, Learning, and Cognition. *Frontiers in Psychology*, n. 10, 2020.

ROBBIN, Tony. *Fourfield (Fourth Field): Computers, Art & the 4th Dimension*. Editora Bulfinch Pr. 1992.

SAKHALKAR, Kausthub; KOPERSKI, Michal; BREMOND, François. Spatio-Temporal Grids for Daily Living Action Recognition. *Association for Computing Machinery*, New York. 2018.

SIDER, Theodore. *Review of Four-dimensionalism: an ontology of persistence and time*. Oxford University Press. 2003.

TAMKÓ, Charles. *Dimensionist Manifesto from 1936*. Paris. 2013.