

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" -
FACULDADE DE ARTES, ARQUITETURA, COMUNICAÇÃO E DESIGN DO CAMPUS
DE BAURU

**CUBO MÁGICO ACESSÍVEL PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA
VISUAL USANDO IMPRESSÃO 3D**

ANDER HARUO KIMOTO DE ALMEIDA

BAURU

2024

CUBO MÁGICO ACESSÍVEL PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL USANDO IMPRESSÃO 3D

Trabalho de Conclusão de Curso na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Artes, Arquitetura, Comunicação e Design no Campus de Bauru, sob orientação dos docentes Prof. Dr. Dorival Campos Rossi e Prof. Dr. Fausto Orsi Medola.

ANDER HARUO KIMOTO DE ALMEIDA

BAURU
2024

A447c

Almeida, Ander Hauro Kimoto de

Cubo mágico acessível para pessoas com deficiência usando
impressão 3D / Ander Hauro Kimoto de Almeida. -- Bauru, 2024
46 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Design) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Arquitetura,
Artes, Comunicação e Design, Bauru

Orientador: Dorival Campos Rossi

Coorientador: Fausto Orsi Medola

1. Cubo mágico. 2. Deficiência visual. 3. Design inclusivo. 4.
Brincar. 5. Código aberto. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Este projeto não teria saído do mundo das ideias se não fossem por algumas pessoas essenciais na minha trajetória, agradeço antes de tudo aos meus pais Midori e Carlos, por terem me dado uma visão única sobre a vida e a importância de lutar pela acessibilidade. Igualmente, agradeço à FAAC UNESP Bauru pela oportunidade de realizar alguns dos meus maiores sonhos, um deles que existia desde antes que eu entendesse o que era fazer uma faculdade, vindo de um desejo de seguir os passos do meu oditian, Tosiaki. Sou grato também aos meus orientadores Fausto, que despertou mais ainda meu interesse em ergonomia e Dorival que me acolheu no laboratório FabLab CITE Bauru, onde adquiri mais conhecimentos do que posso citar em uma sessão tão breve como essa. O FabLab, minha segunda casa durante a graduação, também foi onde produzi o projeto presente neste relatório. Sem esse lugar nada teria sido possível. Por último, mas não menos importante, agradeço às minhas famílias, a que recebi no momento em que vim a este mundo, por sempre acreditarem em mim e, em especial àquela que eu achei sozinho e escolhi na minha vida, pois foram eles que me deram incentivos em todos os momentos que precisei, morando no andar de cima ou até mesmo a um oceano de distância, sem eles eu não teria descoberto o que é acreditar em mim mesmo.

ABSTRACT

Coming from a family context where the fight for inclusion and accessibility were always fundamental elements for social interactions, this technical report seeks, through the development of an accessible Rubik's Cube for people with visual impairment, to promote assistive technology by uniting the understanding of tactile and visual aspects in the redesign of a single product, as an alternative product for people with visual impairment. The usual approach of having distinct, exclusive products for visually-impaired people is an initiative that only marginalizes this public that yearns to be included. Using 3D printing and open source technology, the file developed for the accessible Rubik's Cube as well as a maker manual for its manufacture, can be accessed, reproduced and assembled by anyone, encouraging the standardization of assistive products.

Key-words: Rubik's cube, visual impairment, inclusive design, play together, open source.

RESUMO

Provindo de um contexto familiar onde, a luta pela inclusão e da acessibilidade sempre foram peças fundamentais para as interações sociais, este relatório técnico busca, por meio do desenvolvimento de um cubo mágico acessível para pessoas com deficiência visual, promover a tecnologia assistiva ao unir as compreensões tátil e visual no redesign de um único produto, em alternativa ao usual de ter-se produtos distintos e exclusivos às pessoas com deficiência visual. Esta iniciativa apenas marginaliza este público que anseia ser incluso. Utilizando da tecnologia de impressão 3D e *open source*, o arquivo desenvolvido do cubo mágico acessível, bem como um manual maker para sua fabricação, pode ser acessado, reproduzido e montado por qualquer pessoa, estimulando a normalização de produtos assistivos.

Palavras-chave: cubo mágico, deficiência visual, design inclusivo, brincar junto, código aberto

SUMÁRIO

1. MOTIVAÇÃO PESSOAL	5
2. INTRODUÇÃO	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
4. OBJETIVOS	10
5. DESENVOLVIMENTO	10
5.1. PROJETO INFORMACIONAL	10
5.1.1. Análise de Similares	10
5.2. PROJETO CONCEITUAL	13
5.3. PROJETO DETALHADO	14
5.3.1. Adaptações Iniciais	14
5.3.2. Mecanismo	17
5.3.3. Faces táteis	22
5.3.4. Impressão 3D	29
6. RESULTADOS	31
6.1. PROTÓTIPO	31
6.2. PRODUTO FINAL	34
6.3. MANUAL DE MONTAGEM	35
7. CONCLUSÃO	43
8. REFERÊNCIAS	44

1. MOTIVAÇÃO PESSOAL

A motivação pessoal para realização do projeto provém do contexto familiar do autor, cuja mãe foi professora na área de educação especial para pessoas com deficiência visual e o pai possui perda visual total, além de outros familiares próximos devido à uma condição genética chamada Síndrome de Stickler, cujo maior sintoma é a ocorrência de problemas visuais e muitas vezes a perda total desta. Esses elementos despertaram desde muito cedo a consciência da necessidade de produtos inclusivos que promovam a participação de pessoas com deficiência visual (PcDV) e videntes em atividades recreativas, bem como ainda a carência de tais produtos no mercado atual.

Tendo aprendido desde cedo a identificar os obstáculos de acessibilidade, analisar o mundo de forma diferente e mais cuidadosa tornou-se algo natural. Um dos maiores “problemas” na infância foi a escassez de atividades acessíveis para que toda a família, principalmente o pai, pudesse compreender e participar com facilidade, e as únicas opções eram o dominó e um baralho manualmente adaptado em braille. Essa insatisfação desenvolveu um desejo de adaptar mais brinquedos e atividades para a inclusão de pessoas com deficiência visual.

Foi assim que, antes mesmo da faculdade, surgiu a primeira versão do cubo mágico acessível para pessoas com deficiência visual, sendo um passatempo diário e com potencialidade de compartilhar com o pai. Realizando diversos testes, sem procura de referências e usando apenas os conhecimentos, vivências e “achismos” para criar algo que funcionasse, sempre baseado na tentativa e erro, o que gerou diversas versões do mesmo produto, sempre realizando testes e análises, mudando todos os detalhes até chegar na versão adaptada final.

2. INTRODUÇÃO

A deficiência visual tem uma incidência enorme no mundo, sendo de mais de 6,5 milhões de pessoas apenas no Brasil, 500 mil com cegueira total e cerca de 6,5 milhões com baixa visão (IBGE, 2022). Apesar desse número, as iniciativas de acessibilidade são raras e ocorrem em sua grande parte por mero cumprimento da lei, e não com um desejo verdadeiro de tornar o mundo mais acessível para pessoas com cegueira ou visão subnormal. Além disso, quando a adaptação de fato ocorre, os produtos acabam por serem de uso exclusivo para essas

peessoas, impedindo que haja uma integração na sociedade, mantendo-as segregadas desde a infância até a vida adulta.

Pessoas com Deficiência Visual (PcDV) precisam de experiências sensoriais e interações táteis para compreender o mundo, porém essa necessidade é perdida com os costumes de uma sociedade extremamente visual onde, até descrever algo para alguém que não enxerga, torna-se um desafio colossal. Isso afeta diretamente as relações sociais, e, devido à falta de conhecimento, as pessoas evitam tais relações e/ou as tratam como "anormais".

Por outro lado, grande parte dos produtos acessíveis presentes no mercado são pensados unicamente para o público não-visual, dificultando o manuseio por videntes (pessoas sem cegueira ou visão subnormal) e causando uma exclusão das PcDVs, uma vez que há uma separação dos produtos que "podem" ser utilizados para cada público. Isto impacta a auto-estima, a percepção de si e as relações sociais em geral (Masini, 2007). Segundo um estudo realizado no Instituto de Cegos do Brasil Central de Uberaba, "há a confirmação da inclusão, porém sob perspectiva unilateral, ou seja, a pessoa com deficiência é quem tem que buscar se incluir na sociedade, senão estará excluída.", portanto, ao reconhecer a importância dos designers no desenvolvimento de produtos acessíveis para todos, a preocupação com a inclusão deixa de ser apenas da pessoa com deficiência visual e torna-se uma responsabilidade compartilhada.

O principal desafio do design, sob a perspectiva inclusiva, diz respeito à criação de produtos de uso igualitário e indiscriminado para incluir sem diferenciar. Em outras palavras, a questão principal é criar produtos inclusivos, que não excluam ninguém, e que possam ser utilizados da mesma forma por pessoas com e sem deficiência, pois ao criar um produto apenas para pessoas com deficiência, é, de certa forma, forma, diferenciá-lo para um grupo e excluí-lo de outros. (Medola e Paschoarelli, 2014, tradução própria¹).

Assim, é dever dos designers desenvolverem um mundo mais acessível, com técnicas de design que abranjam todas as pessoas e não apenas uma parcela delas, ainda que a maioria dos profissionais da área entenda que produtos acessíveis, especialmente para pessoas com deficiência visual por exemplo, não possam ter cores ou detalhes e elementos atrativos visualmente. Essa noção é completamente contraditória, considerando-se que o principal

¹ No original: "The main challenge of the design, under the inclusive perspective, concerns to create products for egalitarian and indiscriminate use to include without differentiating. In other words, the main question is to create inclusive products that do not exclude anyone, and can be used at the same way by people with and without disability, because when creating a product only for people with disability, it is, in a certain way, to differentiate it for a group and to exclude it from others."

objetivo de um design acessível é tornar um produto alcançável por mais pessoas, e não segregá-las ao desenvolver uma nova alternativa exclusiva para elas, não tratando a acessibilidade como uma barreira e sim como uma função para se adicionar no produto.

Para a maioria dos designers, acessibilidade equivale a designs chatos e desinteressantes. O estado da acessibilidade na web hoje representa uma falência da imaginação. Sites acessíveis não precisam ser chatos. Sites chatos não precisam servir como modelos de acessibilidade. Talvez uma das maiores limitações à acessibilidade hoje seja que os sites que consideramos modelos de acessibilidade SÃO chatos. Ainda temos que trazer o poder e a criatividade da comunidade do design para enfrentar o desafio da acessibilidade. Para que a acessibilidade realmente se torne parte das melhores práticas convencionais, os designers devem se inspirar para criar sites que atendam aos requisitos de acessibilidade de maneira elegante. A comunidade da acessibilidade precisa encontrar formas de convidar os principais designers a enfrentar o desafio do design acessível e cultivar a inovação no design. (Regan, 2004, tradução própria²).

Usando o design como ferramenta, é possível que interações entre PcDV e videntes tornem-se mais agradáveis para ambos, com uma adaptação de produtos que não retirem sua capacidade de uso inicial, pois as atividades devem ser acessíveis para toda a população, permitindo e normalizando a interação entre os grupos de pessoas.

Um dos maiores problemas dos produtos acessíveis é que, por muitas vezes, são adaptados por educadores a fim de suprir as necessidades de seus alunos, ou então por pessoas que desejam incluir familiares ou amigos com deficiência visual em momentos de lazer. Entretanto, ambas as situações implicam em uma produção artesanal, que em grande parte das vezes não pode ser reproduzida pela indústria, já que dependem de uma produção manual e consequentemente são mais caras. A intenção é que o cubo mágico acessível seja impresso em 3D, permitindo sua fácil reprodução seguindo os movimentos *Open Design* e *Open Source*, ou seja, de código aberto, podendo ser acessado, distribuído e modificado por qualquer pessoa com acesso a uma impressora 3D, possibilitando a troca de conhecimentos e a livre distribuição de conteúdos. (Silva; Rossi, 2019)

De acordo com um texto publicado no blog da *InFocus*, uma organização sem fins lucrativos que busca tornar o mundo mais acessível para PcDVs, jogos, além de serem uma

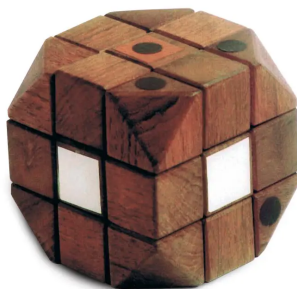
² No original: "For most designers, accessibility equates with boring, uninteresting designs. The state of accessibility on the web today represents a failure of the imagination. Accessible sites don't have to be boring. Boring sites do not have to serve as models of accessibility. Perhaps one of the greatest limitations on accessibility today is the sites we hold up as models of accessibility ARE boring. We have yet to bring the power and creativity of the design community to bear on the challenge of accessibility. If accessibility is to truly become a part of mainstream best practice, designers should be inspired to create sites that meet the requirements of accessibility elegantly. The accessibility community needs to find ways to invite mainstream designers to meet the challenge of accessible design and cultivate innovation in design."

atividade divertida, ajudam a estimular as atividades físicas e mentais, melhorando a concentração, habilidade de resolução de problemas, coordenação e memória. Além de promover interações sociais com amigos e familiares (Mather, 2022), o site *Paths to Literacy* exemplifica a necessidade atual de adaptação caseira constante em momentos de lazer, onde uma professora vê a necessidade de tornar jogos de tabuleiro acessíveis para todos os seus alunos, fazendo uso de itens comuns, como velcro, pedaços de madeira e adesivos para adaptar diversos jogos (Chevalier, 2017), esse conhecimento é constantemente compartilhado entre pais, professores e outros interessados em incluir PcDVs em atividades lúdicas do cotidiano, uma comunicação necessária em um contexto onde pouquíssimos jogos acessíveis podem ser adquiridos em lojas comuns, principalmente no Brasil.

Existem muitos brinquedos para deficientes visuais no exterior que são importados para o Brasil, por profissionais ou instituições que trabalham nesta área. Talvez esta escassez na produção de brinquedos para deficientes visuais ocorra por causa do tipo de produção que muitas vezes são artesanais e caras. Os projetos de brinquedos desenvolvidos por grande parte das instituições são feitos através de um processo manual, onde o produto final se torna encarecido e inacessível, além de ser um produto restrito a um tipo de usuário. (Kamisaki, 2011, p. 125).

O cubo mágico, também conhecido como cubo de Rubik (imagem 1), foi inventado em 1974, originalmente em madeira, pelo húngaro que leva o nome original do brinquedo, Ernő Rubik, e é considerado até os dias atuais um dos brinquedos mais famosos do mundo. Trata-se de um quebra-cabeça tridimensional e rotativo, sendo dividido em três camadas que giram com rotações de 90° em torno de seus respectivos eixos. Assim, seu mecanismo permite que cada face do cubo gire de forma independente, embaralhando as cores presentes nas faces, sendo cada uma composta por uma cor distinta, tipicamente branco, amarelo, vermelho, laranja, azul e verde.

Imagem 1 - Cubo original produzido em madeira



Fonte: The New York Times

O cubo de Rubik é um quebra-cabeça estritamente visual, uma vez que depende da organização das cores de suas respectivas faces, e, portanto, pessoas com deficiência visual não estão incluídas como o público-alvo, mesmo sendo ele um dos brinquedos mais amados e vendidos no mundo, segundo o próprio site *The Official Rubik's*, o que cria uma lacuna acerca da inclusão de pessoas com deficiência visual. Apenas em 2024, a empresa lançou o primeiro cubo mágico tátil, em parceria com a *The National Federation of the Blind*, para o aniversário de 50 anos de invenção do brinquedo, antes disso existiam apenas cubos adaptados manualmente.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme a Lei Brasileira de Inclusão, 13.146 de julho de 2015, tecnologia assistiva (TA) é definida como produtos e práticas que tenham como objetivo promover a participação da pessoa com deficiência, visando à sua qualidade de vida e inclusão social. Porém não é bem isso que ocorre na prática, visto que os produtos assistivos são muito específicos, o que impede a inclusão social, pois o alto custo dos recursos tem sido a principal dificuldade, e, quando oferecidos, o seguimento é demorado e burocrático (Yu; Montilha; Fernandes, 2019). Isso está refletido, por exemplo, na pequena variedade de produtos acessíveis disponíveis para venda no Brasil, porque, na maioria das vezes, é necessário importar do exterior.

Para o desenvolvimento de todo ser humano, brincar é essencial, afirma a professora Mara Siaulys (2006), fundadora da Associação Brasileira de Assistência ao Deficiente Visual, pois o ser humano depende da interação social e seu meio mais primário é, de forma simples, brincar junto. Todavia, para crianças com deficiência visual é difícil se sentir incluído, justamente pela falta de brinquedos acessíveis e, num âmbito mais geral, da necessidade do sentido visual em grande parte das atividades e brincadeiras, que as exclui das interações sociais desde os primeiros anos e, segundo Halliday (1975), o fator mais importante é que a criança sintam-se aceitas, estimuladas e apreciadas, pois isso tem grande influência sobre sua vida adulta. Sendo assim, a presença e continuidade de interações sociais, juntamente ao sentimento de pertencimento na sociedade são imprescindíveis durante toda a vida do ser humano.

As crianças aprendem a brincar umas com as outras, observando-se mutuamente, movimentando-se juntas, imitando, participando de jogos. A

criança que não pode ver as outras brincando, que não sabe brincar junto e não entende as brincadeiras tende a permanecer isolada em seu canto, podendo ficar marginalizada e ter prejudicado o seu desenvolvimento. (Siaulys, 1997)

De acordo com Sousa e Sousa (2017): “a criança com deficiência visual precisa explorar suas possibilidades através da liberdade para manusear, tocar e receber conceitos concretos e abstratos do mundo que o cerca para que possa usar este conhecimento na escola e outros ambientes”, tendo essa compreensão, educadores das salas de recursos, ou de Atendimento Educacional Especializado (AEE), foram peças chaves na integração e desenvolvimento dos alunos com deficiência visual, por meio da adaptação tátil de brinquedos e jogos do cotidiano, devido à precariedade de tecnologia assistiva.

4. OBJETIVOS

O projeto do cubo mágico acessível para deficientes visuais tem como objetivo central o redesign de um brinquedo mundialmente conhecido e admirado pelo público infantil e adulto, desenvolvendo faces de texturas distintas para cada cor em alto relevo, fornecendo uma identificação quase imediata das peças do quebra-cabeça para pessoas com deficiência visual (PcDV) e, ainda assim, mantendo-o atrativo visualmente para videntes, evitando a segregação, para que haja maior integração de pessoas com deficiência visual e pessoas sem perda da visão em atividades de lazer.

Ao fazer uso de impressão 3D, o projeto poderá ser compartilhado em plataformas de *open source*, incentivando a replicação do brinquedo e o compartilhamento do mesmo para toda a população, normalizando produtos que sejam acessíveis para todos e não específicos apenas para pessoas com deficiência visual.

5. DESENVOLVIMENTO

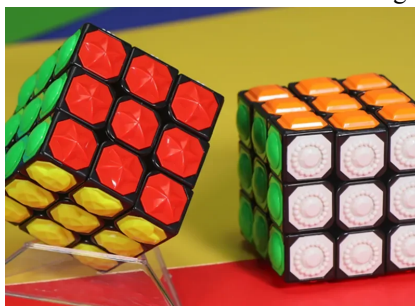
5.1. PROJETO INFORMACIONAL

5.1.1. Análise de Similares

Grande parte dos cubos mágicos adaptados disponíveis para venda, não são exatamente acessíveis, devido à pouca diferenciação entre as faces (imagens 2 e 3), que devem ter um relevo alto e texturas o mais distintas possíveis. No primeiro caso, as formas possuem um leve abaulado e no segundo, as faces são apenas levemente diferentes, usando elementos finos e com alto relevo muito sutil. Seus lados positivos são o uso de cores da

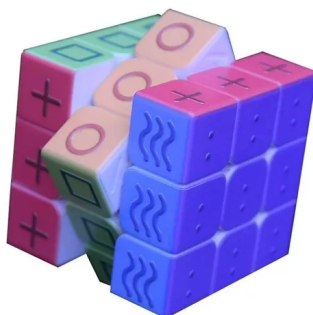
mesma forma que o cubo original, permitindo uma fácil identificação para pessoas com baixa visão. Outras versões esforçam-se ao usar altos relevos mais salientes (imagens 4 e 5), porém exigem uma atenção muito grande para cada face, devido a quantidade de pontos presentes, além disso esses utilizam a mesma cor para todo o cubo, tornando-o de difícil uso para videntes e impedindo a integração. Em suma, os cubos atuais têm faces pouco elaboradas na área de acessibilidade, podendo facilmente causar confusão durante o manuseio ágil do brinquedo para a montagem.

Imagem 2 - Cubo com relevo usando formas geométricas



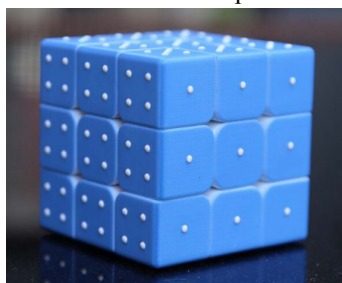
Fonte: loja online AliExpress

Imagem 3 - Cubo com relevo usando formas lineares



Fonte: loja online Mercado Livre

Imagem 4 - Cubo utilizando pontos de dominó



Fonte: loja online NanoPsicologia

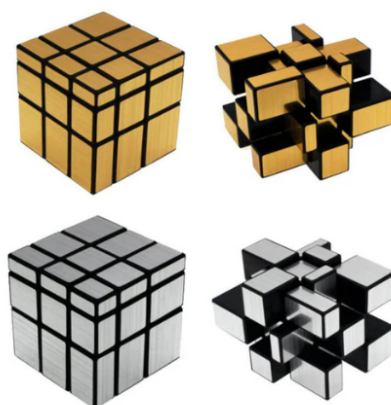
Imagem 5 - Cubo utilizando Braille



Fonte: perfil do instagram @papodeacessibilidade

Existe também um cubo que é acessível “por acidente” (imagem 6), já que não era seu objetivo. Ele consiste em lados que, quando embaralhados, apresentam alturas diferentes, por esse motivo o sentido visual torna-se desnecessário, mesmo sem cores o cubo funciona perfeitamente e pode ser montado, por exemplo, com os olhos fechados, uma vez que é baseado apenas no sentido tátil. Então, apesar de não ter sido feito com essa finalidade, o cubo espelhado é acessível para PcDVs.

Imagem 6 - Cubo espelhado, com as faces de alturas diferentes



Fonte: loja online Azenna

Neste ano de 2024, o cubo de Rubik completa 50 anos desde sua criação, e, para celebrar este marco, a empresa *Spin Master* criou a campanha “*Make Your Move*” (Faça Seu Movimento), lançando um cubo mágico sensorial (imagem 7), “com o objetivo de inspirar a próxima geração de solucionadores de problemas, e, isso quer dizer todos”, segundo o próprio site da empresa. Antes desse movimento, não existiam cubos mágicos acessíveis desenvolvidos oficialmente, apenas versões adaptadas, como as citadas acima e ainda assim,

até o momento, o produto tátil desenvolvido pela empresa não está disponível para venda no Brasil.

Imagem 7 - Cubo de Rubik Sensorial



Fonte: Site oficial Rubik

Após analisar os cubos existentes e disponíveis no Brasil, é possível concluir que, um cubo mágico acessível bem desenvolvido deve contar com faces coloridas como o original, além de texturas que se diferenciem de forma eficiente ao usar o tato, para que pessoas com deficiência visual possam manusear o produto com agilidade, sem que ocorra confusão das faces.

Criando um produto quase completamente em impressão 3D, seu custo de produção diminuirá consideravelmente, uma vez que terá uma produção automatizada, diferente dos adaptados artesanalmente por educadores e videntes que buscam a inclusão de pessoas com deficiência visual nas atividades de lazer. Além disso, aderindo ao movimento de *open source*, ou código aberto, o projeto pode ser acessado e modificado por qualquer pessoa, tornando-o ainda mais palpável.

5.2. PROJETO CONCEITUAL

O cubo de Rubik acessível tem como público-alvo tanto pessoas com deficiência visual, quanto videntes de todas as idades. Para tanto, as faces desenvolvidas possuem alto relevo e formas distintas, para que não ocorra confusão entre si. Vale ressaltar que o intuito é uma leitura imediata da face e por esta razão é essencial que o alto relevo tenha uma elevação acentuada para o público que depende do tato. Nesse sentido, serão cinco faces com relevo e uma completamente lisa. Além disso, a presença das cores típicas do cubo mágico é indispensável, uma vez que o quebra-cabeça deve incluir também aqueles que dependem da visão, como videntes e pessoas com baixa visão ou subnormal.

5.3. PROJETO DETALHADO

5.3.1. Adaptações Iniciais

A primeira adaptação de um cubo mágico desenvolvida pelo autor, foi feita utilizando uma reglete³ e fita rotuladora para braille⁴ marrom, não foi possível encontrar registros, mas as faces eram compostas por letras do alfabeto braille. Para a versão seguinte, a fita foi substituída por plástico transparente, fixado com cola instantânea, permitindo que se enxergasse as cores das faces (imagem 8), criando dessa vez combinações com pontos mais espaçados entre si, a fim de tornar a leitura das faces mais rápida.

Imagem 8 - Adaptação com braille



Fonte: do autor

Porém, nas entrevistas, que serão detalhadas no capítulo de resultados, um dos usuários com deficiência visual do cubo adaptado alegou que, o fato das faces não permanecerem na mesma posição de leitura com o quebra-cabeça embaralhado, causava confusão das peças, não só isso, mas também que este sistema com diversos pontos se mostrava confuso a longo prazo. Tendo isso em mente, para a próxima adaptação foram coladas formas e texturas distintas para cada face (imagem 9). Dentre elas estão dois modelos de botões, feltro e um conjunto de nariz de urso para pelúcias, sendo este dividido para duas faces, uma com a forma do nariz e outra com a tarraxa da peça. Note que os pinos e argolas presentes na parte de trás das peças foram serrados.

³ Um dos primeiros instrumentos criados para a escrita braille, sempre vem acompanhado de um punção.

⁴ Fita adesiva utilizada em rotuladoras braille, permitindo a etiquetagem em braille dos pertences.

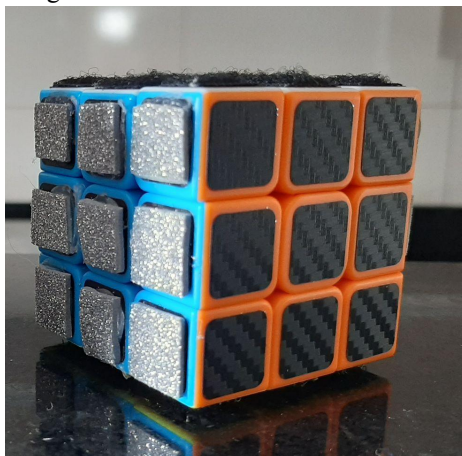
Imagem 9 - Primeira adaptação com texturas diversas



Fonte: do autor

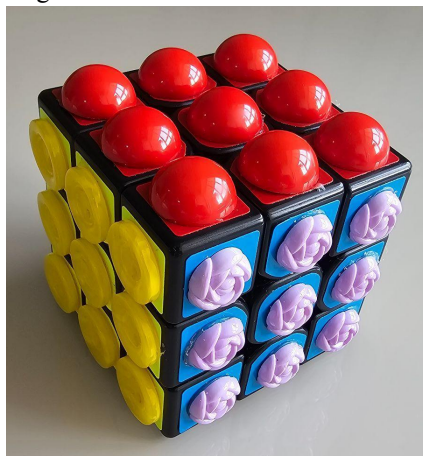
Para as versões subsequentes, as alterações deram-se, respectivamente, quanto às possibilidades de texturas (imagem 10), em busca da que sofresse menos deterioração com o tempo. Como que o feltro rapidamente juntava bolinhas, o EVA com glitter foi considerado brevemente por possuir uma superfície áspera, porém logo o aspecto granulado desaparecia, além de fazer muita sujeira. A alternativa mais eficiente foi o fecho de ganchos e argolas, conhecido popularmente como velcro, bem como diferentes modelos de botões (imagem 11), a fim de encontrar formatos que proporcionem uma identificação mais imediata da peça.

Imagem 10 - Teste com diferentes texturas



Fonte: do autor

Imagem 11 - Teste com diferentes botões



Fonte: do autor

Grande parte das texturas e dos relevos desenvolvidos para as faces, foram baseadas no último cubo adaptado manualmente pelo autor, presente na imagem 12. As cores das peças foram desconsideradas, já que foram completamente baseadas na disponibilidade de cores das texturas de cada peça no momento de compra; vale ressaltar que todas as escolhas foram feitas juntamente com o próprio usuário do cubo mágico, uma pessoa com deficiência visual, que inclusive esteve junto no momento de compra para sentir e escolher quais texturas e relevos seriam mais pertinentes.

Imagem 12 - Último cubo adaptado manualmente com identificação das faces



	Lisa		Botão flor
	Botão redondo		Botão anel
	Velcro áspero		Velcro felpudo

Fonte: do autor

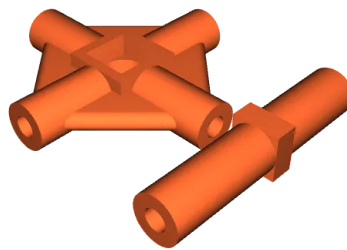
Este cubo adaptado foi apresentado para diversos usuários com deficiência visual, e o produto recebeu um alto nível de satisfação, por este motivo, o objetivo inicial para este projeto seria replicar estas faces usando impressão 3D. Contudo, nem todas as texturas poderiam ser fielmente reproduzidas, uma vez que tinham como cerne justamente a diferença de materiais e não apenas o relevo, como é o caso das demais faces que se consistem de botões com formatos diferentes. Portanto, foi necessário criar relevos diferentes para

substituí-las, sem tornar o cubo repetitivo ou demasiadamente complexo tatilmente, ou seja, que exigissem que o usuário “lesse” as faces, já que um dos objetivos é a compreensão quase que imediata do relevo ao toque, como descreveu um dos usuários: “Fecha o olho e põe a mão em cima, tem que relar o dedo e já perceber qual peça é”.

5.3.2. Mecanismo

Visto que o projeto adere ao movimento de código aberto, foi utilizada a plataforma *printables*, um grande acervo de arquivos .stl para impressão 3D, usando inicialmente o projeto “*Speed Cube 3X3*” (imagem 13), sob a *Creative Commons (4.0 International License) Attribution—Noncommercial—ShareAlike*, com uma ampliação de 115,62% de suas dimensões, a fim de que a peça central tivesse dimensões 18,50 x 9,77 x 18,50mm, o mais próximo possível da mesma peça nos cubos originais Rubik’s, uma vez que um cubo muito pequeno tornaria difícil o manuseio com boa identificação das faces.

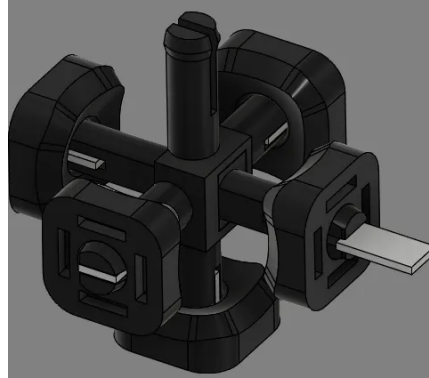
Imagem 13 - Speed Cube 3X3



Fonte: printables por @rambros

Inicialmente o objetivo era o desenvolvimento de um cubo unimaterial, ou seja, que não utilizasse parafusos ou molas, pois já existia um *remix* do arquivo inicial que seguia esse conceito, o projeto “*Rubiks cube (solid screwless)*” (imagem 14). Também sob a *Creative Commons (4.0 International License) Attribution—Noncommercial—ShareAlike*, este segundo arquivo já possui as dimensões do cubo Rubik original. Contudo, após a impressão do cubo completo, uma resistência muito grande na movimentação foi identificada, pois a peça central não gira ao redor da haste, o que tornou o manuseio inviável para pessoas com deficiência visual, visto que podem perder facilmente a localização das peças com um cubo que trava muito, confirmando a necessidade do uso de parafusos e molas para uma movimentação mais fluida.

Imagem 14 - *Rubik's cube (solid screwless)*



Fonte: printables por @raf_ds_261756

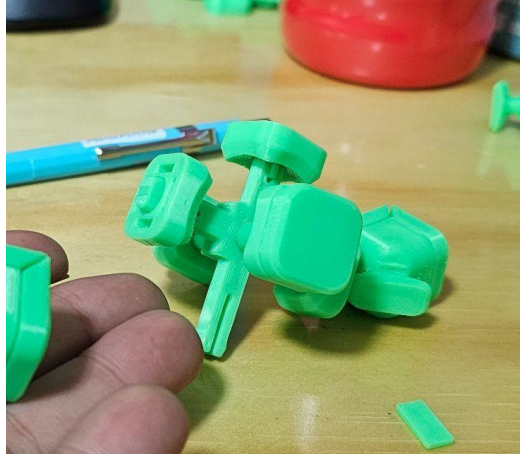
Portanto, foi necessário modelar um núcleo novo, estudando o funcionamento do núcleo com parafusos, a fim de uni-lo com o formato e dimensões de peças da versão sem parafusos, que já havia servido de base para modelagem das texturas nas faces, tendo em vista que no arquivo *Speed Cube 3x3* (imagem 15) a haste com a cavidade para o parafuso rachou no meio durante a montagem, além de uma das peças do núcleo ter se quebrado com pouco esforço. As medidas para os furos e cavidades para encaixes foram baseadas nos parafusos e molas de cubos desmontados do autor, que seguem as medidas do cubo Rubik original. A peça central, que possibilita a união do núcleo com o restante do mecanismo, tomou como base o arquivo *Rubiks cube* (imagem 16), por ter um encaixe da face mais viável.

Imagem 15 - Núcleo impresso do arquivo Speed Cube 3x3



Fonte: do autor

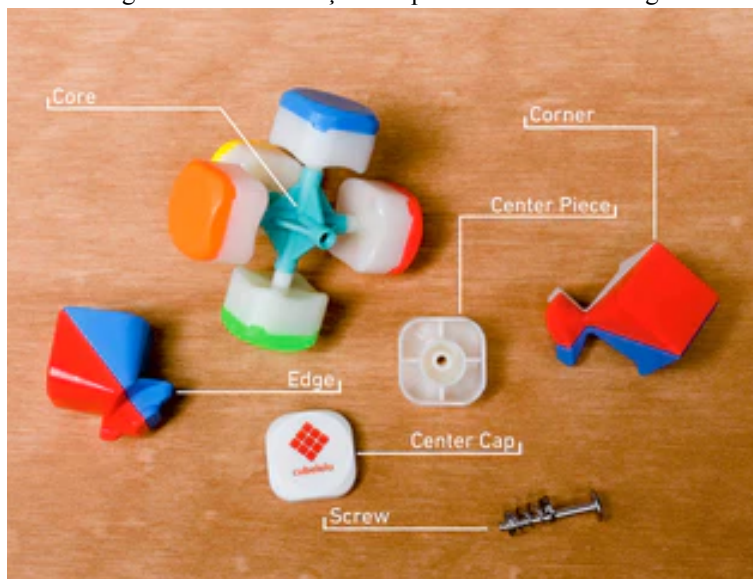
Imagem 16 - Peça central e núcleo impressos do arquivo *Rubiks cube (solid screwless)*



Fonte: do autor

Nesse sentido, o mecanismo do cubo mágico aqui desenvolvido foi dividido em cinco tipos de peças distintas impressas em 3D, observe a imagem 17 para melhor compreensão. O núcleo (*core*) é formado por duas peças de hastes que formam uma cruz, seis peças centrais (*center pieces*), doze peças laterais (*edge*) e oito peças de cantos (*corner*); essas três últimas servirão para o encaixe das faces no cubo mágico. Foram desenvolvidos *sketches* (imagem 18) de estudo para modelagem do mecanismo, considerando a profundidade e diâmetro de rosca e a espessura da haste necessárias, e para que a peça seja resistente, considerando também o espaço necessário para a colocação e movimentação da mola na peça central, além da altura e do diâmetro da cabeça do parafuso.

Imagem 17 - Identificação das partes de um cubo mágico



Fonte: do autor

6,5mm
1mm
13mm
9mm
2,4mm
22mm

altura pra mola e
L4mm apoio do
parafuso

Mecanismo A

42
8
9
12
12,42
28
180

Mecanismo B

* 28 total -> 14 cada lado -> G é o espaço de encaixe com A

9
6
8
15
9

Centro

parafuso

3
5
7

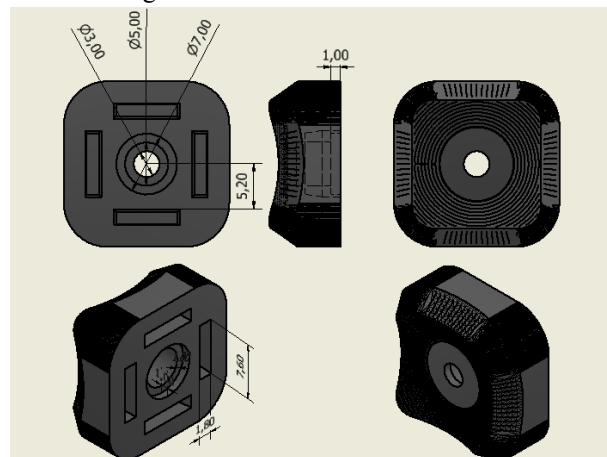
Technical drawing of a cross-shaped mechanical part. The drawing includes three orthographic views and one isometric view.

- Top View:** Shows a central square with a circular hole of diameter $\varnothing 2,42$. The overall width is $12,00$ and the height is $9,00$. The central hole is offset from the top and bottom edges by $6,00$.
- Front View:** Shows a central square with a circular hole of diameter $\varnothing 2,42$. The overall width is $8,00$ and the height is $9,00$. The central hole is offset from the left and right edges by $6,00$.
- Side View:** Shows a central square with a circular hole of diameter $\varnothing 2,42$. The overall width is $8,00$ and the height is $9,00$. The central hole is offset from the top and bottom edges by $6,00$.
- Isometric View:** Shows the 3D shape of the part, which is a cross-shaped block with a central square hole of diameter $\varnothing 2,42$.

20

As peças que servem de base para o encaixe das faces foram mantidas as mesmas do arquivo para o cubo sem parafusos, sem necessidade de ajustes na modelagem, exceto a peça central (imagem 20), pois ela é fixada pelo parafuso no núcleo (imagem 21). Para tanto, foi preciso realizar algumas alterações para que houvesse espaço suficiente para a movimentação da mola, sem que corresse risco dela se soltar, bem como para encaixar a cabeça do parafuso sem afetar o espaço de encaixe da face. Apesar da peça central ter medidas baseadas no parafuso dos cubos originais, para a versão remodelada no núcleo foi preciso utilizar um modelo diferente de parafuso, pois o presente nos cubos desmontados mostrou-se muito comprido, impedindo o encaixe necessário das peças, além de ser de um modelo muito específico e dificilmente encontrado.

Imagem 20 - Desenho técnico do centro



Fonte: do autor

Imagem 21 - Núcleo e peça central unidas por parafuso



Fonte: do autor

O formato dessas peças (imagem 22) facilita o encaixe individual das faces permitindo a impressão de cada cor separadamente, deixando o arquivo mais acessível para impressão 3D e dispensando o uso de adesivos com as cores ou a pintura manual das faces.

Para tanto, as peças se encaixam perfeitamente nas faces, mantendo-se firmes sem a necessidade de cola.

Imagem 22 - Impressão das peças de cantos e lateral



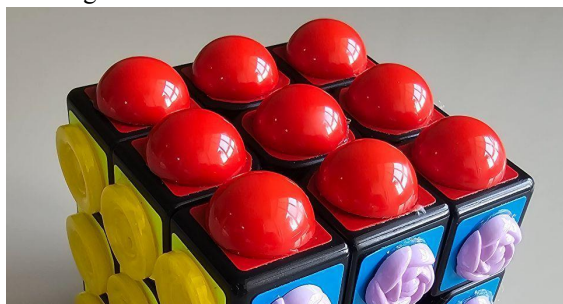
Fonte: do autor

5.3.3. Faces táteis

Para o esboçar e modelar as faces táteis usando o arquivo já existente usando o programa de modelagem 3D *Autodesk Inventor*, foi necessário usar o complemento *mesh enabler*, para converter as peças de malha para objetos, permitindo a edição dos objetos tridimensionais, constatou-se que a área útil para modelagem era de 14x14mm, posteriormente para as faces definidas para a versão final, foi definida a altura máxima de 5mm para todas as texturas (algumas das faces descartadas não seguem essa medida), a fim de padronizar as faces para que apenas as formas sejam o fator de diferenciação e também possibilitar que o cubo apoie-se sobre uma superfície sem tombar. Além disso, todos os cantos retos das faces do arquivo original foram levemente arredondados, para aumentar a resistência da peça, que entortava facilmente e para tornar o produto mais seguro para o manuseio, principalmente de crianças. Novamente, essa alteração só foi aplicada nas faces definitivas.

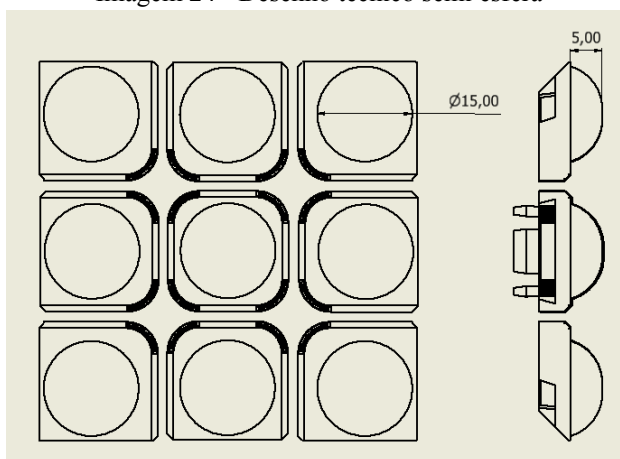
A face da semiesfera, ou bolinha, foi baseada no botão redondo do último cubo adaptado pelo autor (imagem 23). Primeiramente, foi feito um círculo com diâmetro de 15mm, em seguida, uma extrusão foi realizada até a altura máxima (5mm) e, por último, a face foi arredondada para que formasse uma superfície única (imagem 24).

Imagem 22 - Face do botão redondo vermelho



Fonte: do autor

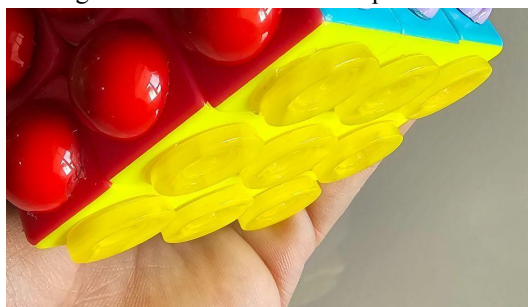
Imagem 24 - Desenho técnico semi esfera



Fonte: do autor

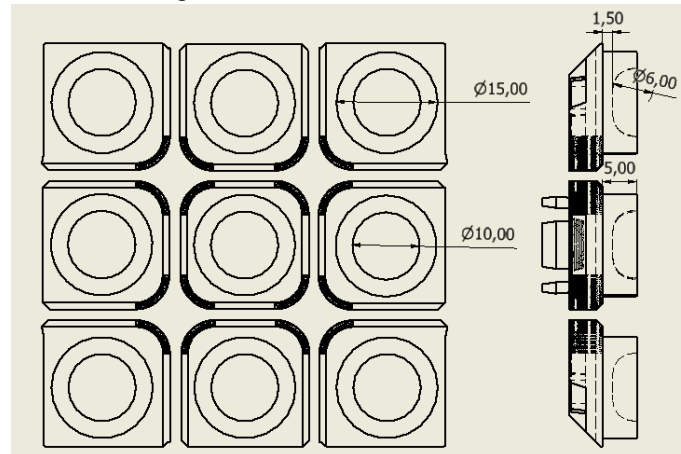
Outras duas faces iniciaram-se como um círculo de 15mm de diâmetro. Primeiramente o anel único foi modelado baseado no botão amarelo (imagem 25) do último cubo adaptado, depois foi desenhado mais um círculo inscrito, criando uma parede de espessura 2,5mm e, esse segundo círculo recebeu uma extrusão menor do que o círculo maior e foi feito um arredondamento na diferença de altura entre ambos, como se pode observar no desenho técnico da face (imagem 26).

Imagem 25 - Face do botão simples amarelo



Fonte: do autor

Imagem 26 - Desenho técnico anel único



Fonte: do autor

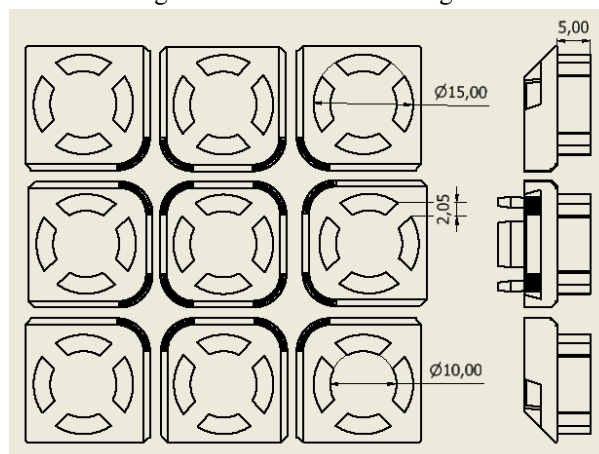
Em seguida, para a face *genius*, que foi inspirada justamente no jogo que deu seu nome (imagem 27), além do círculo de diâmetro 15mm, um outro círculo com 10mm de diâmetro e de mesmo centro foi desenhado, e a área formada entre eles teve uma extrusão de 5mm de altura. E por fim, foram feitos dois retângulos com 2mm de largura e, na intersecção, todo o espaço ocupado por eles foi recortado, como está ilustrado na imagem 28.

Imagem 27 - Jogo genius



Fonte: loja online americanas

Imagem 28 - Desenho técnico genius



Fonte: do autor

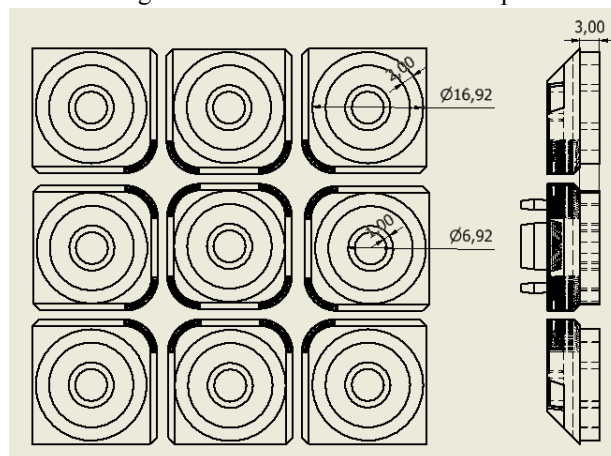
Semelhante à aparência de um movimento circular formado na água (imagem 29), a face anel duplo, têm como base um círculo de 16,92mm de diâmetro com espessura interna de 2mm. Outro círculo com mesmo centro foi adicionado, desta vez com diâmetro 6,92mm e espessura interna de 1mm; então, ambos os anéis formados receberam uma extrusão de 3mm de altura, como mostra a imagem 30.

Imagem 29 - Movimento circular na água



Fonte: Foto de Jeremy Bishop na Unsplash

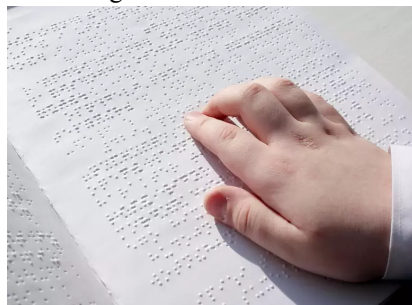
Imagem 30 - Desenho técnico anel duplo



Fonte: do autor

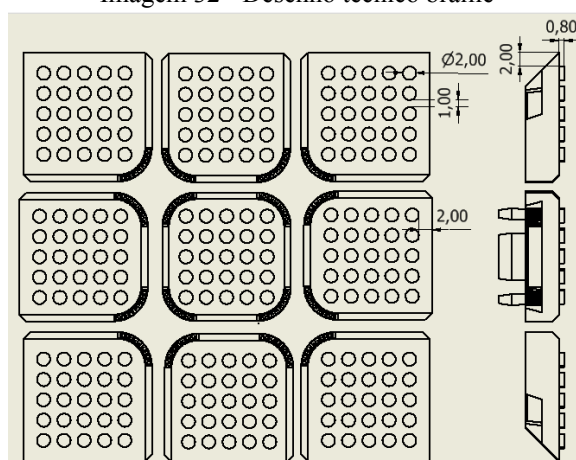
Para esta face, baseado no sistema braille (imagem 31), alfabeto tátil utilizado por PcDVs, foram utilizadas as medidas de distância entre os pontos e altura de uma célula braille, uma vez que seria suficiente para que os pontos pudessem ser distintos uns dos outros. A face tem uma textura semelhante à uma lixa, com 5 linhas e 5 colunas equidistantes, formando uma malha de pontos a 2mm de distância das bordas da peça, como representado na imagem 32.

Imagem 31 - Célula braille



Fonte: Shutterstock

Imagem 32 - Desenho técnico braille



Fonte: do autor

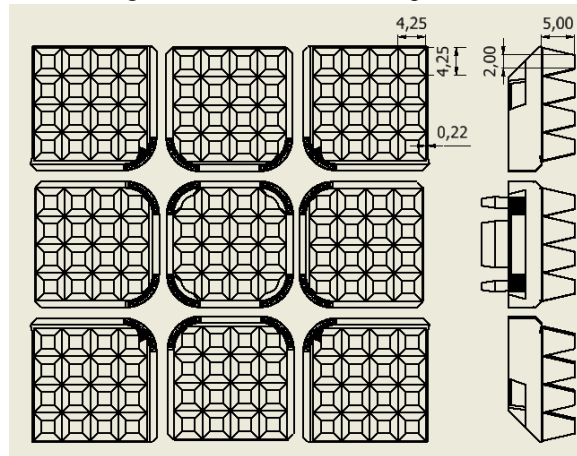
Inspirando-se na face de velcro áspera (imagem 33), presente em um dos cubos manuais feito pelo autor, foram feitas 4 colunas e 4 linhas de trapézios isósceles de base quadradas, sendo a menor de lado 2mm e a maior 4,25mm, as arestas desta são tangentes entre as linhas e colunas, como mostra a imagem 34.

Imagem 33 - Face com velcro



Fonte: do autor

Imagem 34 - Desenho técnico pontinhas



Fonte: do autor

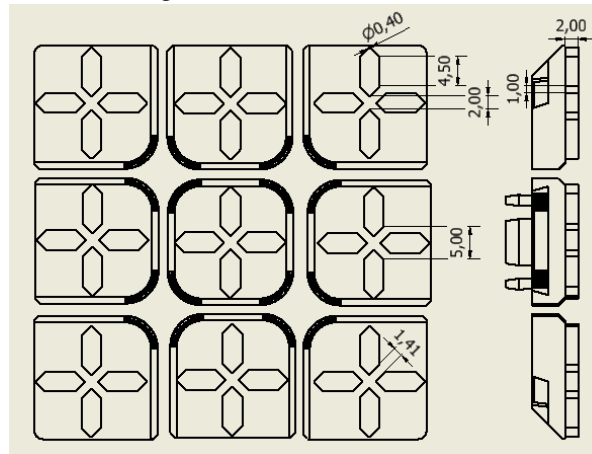
A face “mais”, segue um formato parecido das setas de direção dos controles da marca *Playstation* (imagem 35), além de assemelhar-se ao símbolo matemático de adição que deu nome à face. Formada por quatro hexágonos não regulares “esticados”, ou seja, com duas arestas compridas de 4,5mm e as duplas menores das pontas com 2,12mm, todos os hexágonos giram com ângulos de 90° em torno de um único centro, com o vértice da ponta à 1mm deste e, por fim, os cantos externos dos hexágonos tiveram um leve arredondamento de 0,40mm de diâmetro. A melhor compreensão das peças pode ser feita visualizando-se a imagem 36.

Imagem 35 - Controle da *Playstation*



Fonte: *Playstation*

Imagem 36 - Desenho técnico mais



Fonte: do autor

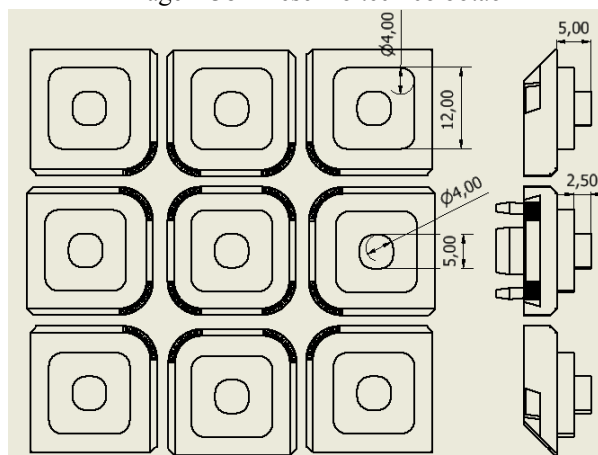
Para a face “botãozinho”, buscou-se criar uma forma que tivesse uma base e uma forma menor sobre esta, próxima à forma de um grande botão vermelho (imagem 37) de perigo. Para isso, foram feitos dois quadrados de mesmo centro, o menor de lado 5mm e o maior de lado 12mm, ambos receberam arredondamentos de 4mm de diâmetro nos cantos; então, a forma central recebeu uma extrusão de altura 5mm, enquanto o quadrado maior uma de 2,5mm, como pode ser observado na imagem 38.

Imagem 37 - Grande botão vermelho



Fonte: Shutterstock

Imagem 38 - Desenho técnico botão



Fonte: do autor

5.3.4. Impressão 3D

Para a impressão do mecanismo interno e das faces, uma camada de 0,16mm de altura foi usada para ter mais qualidade nos detalhes. Além disso, ativar a opção engomar, ou passar a ferro, foi essencial para que a superfície superior tivesse o mínimo de textura do filamento possível, tornando-a mais lisa. Houve necessidade de adicionar um brim⁵ de 8mm nas peças pois, devido ao tamanho delas, a área de contato com a placa de impressão era muito pequena e essas acabavam se soltando no meio da impressão (imagens 39 e 40), o que fez com que o mesmo arquivo tivesse que ser repetido diversas vezes.

Imagem 39 - Peças com erros na impressão



Fonte: do autor

Imagem 40 - Placa de impressão com erros



Fonte: do autor

⁵ O Brim é uma técnica usada para aumentar a aderência da peça na mesa de impressão, adicionando um número maior de contornos em sua base para criar um grande anel em torno da peça.

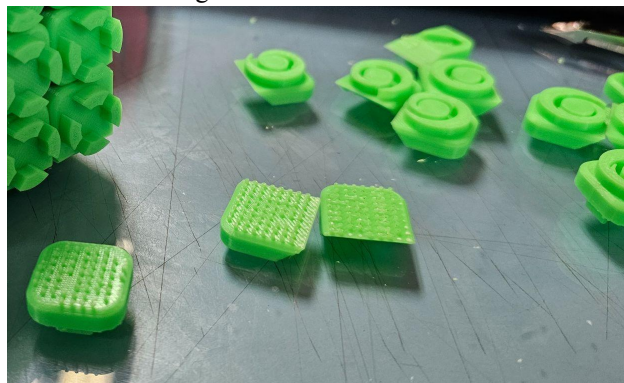
Inicialmente, todas as peças foram impressas usando uma única cor de filamento (imagem 41) para teste o tátil. Nesta etapa algumas faces já foram descartadas por motivos diversos como fragilidade, se quebrarem facilmente apenas ao toque, pela impossibilidade da distinção com a face lisa devido ao relevo com baixa altura de extrusão e/ou pouco espaço entre os elementos, como foi o caso da tentativa da face com espiral (imagem 42).

Imagem 41 - Diversas peças de teste impressas



Fonte: do autor

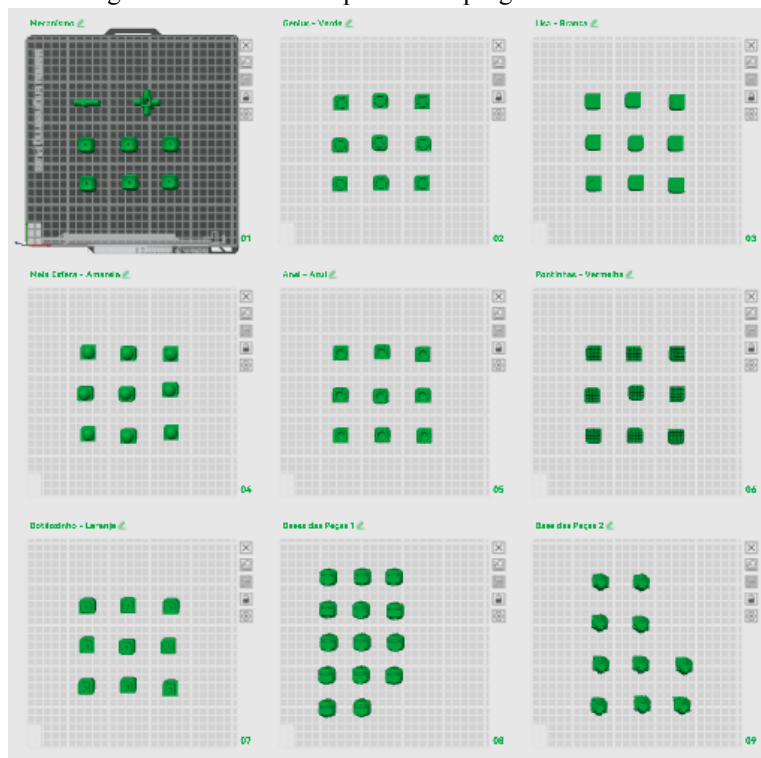
Imagem 42 - Faces descartadas



Fonte: do autor

O projeto final foi dividido em 9 placas de impressão (imagem 43), tanto devido às diferentes cores que seriam utilizadas (imagem 44), quanto para que as impressões levassem um tempo menor. Dessa forma, o arquivo mais longo levaria 1 hora e 56 minutos de duração, na teoria, isso porque todos os arquivos tiveram de ser impressos em 50% da velocidade. Caso contrário, as peças se descolariam da mesa antes de serem finalizadas, mesmo com um brim aumentado.

Imagem 43 - Placas de impressão no programa *BambuStudio*



Fonte: do autor

Imagem 44 - Face colorida



Fonte: do autor

6. RESULTADOS

6.1. PROTÓTIPO

Após a impressão completa do protótipo (imagem 45) com as oito opções de texturas viáveis para o projeto, nomeadas de A a H (imagem 46), foram consultadas sete pessoas com deficiência visual conhecidas do autor, com idades entre 48 e 73 anos, que analisaram as oito

faces modeladas e impressas, avaliando a percepção e compreensão tátil, a fim de que apenas cinco dentre as faces desenvolvidas fossem selecionadas para a versão final do cubo mágico acessível. A face lisa, sem textura, não fez parte da escolha, pois foi definido que estaria obrigatoriamente no cubo. Dentre os entrevistados, seis possuem cegueira total e um possui baixa visão moderada, segundo as classes de acuidade visual definidas pela Sociedade Brasileira de Visão Subnormal (2022).

Imagem 45 - Protótipo impresso



Fonte: do autor

Imagem 46 - Faces A, B, C, D, E, F, G e H, respectivamente



Fonte: do autor

Foi solicitado que os entrevistados ordenassem as faces da melhor para a pior face de se identificar. Como pode-se observar na imagem 47, a face A foi quase unanimemente escolhida como a melhor para se identificar no quesito tátil e descrita como tendo uma identificação imediata por ter uma forma cheia e poucos detalhes.

Cada um dos participantes, então, escolheu quais seriam as cinco faces que fariam parte do cubo juntamente com a face lisa, desta forma, a quantidade de pessoas que escolheram cada face foi contabilizada e registrada na tabela presente na imagem 47. As faces C, G e H tiveram um empate, portanto foram atribuídos pontos para cada face

baseando-se na ordem de melhor para pior de se identificar, iniciando-se na primeira peça da linha, a melhor para se identificar, com 40 pontos e diminuindo o valor de 5 em 5 pontos, até a última peça da linha, sendo então a pior para se identificar com 5 pontos. Dessa forma, ao somar as colocações de cada face para cada entrevistado, as faces C e G somaram mais pontos e a face H foi removida do cubo.

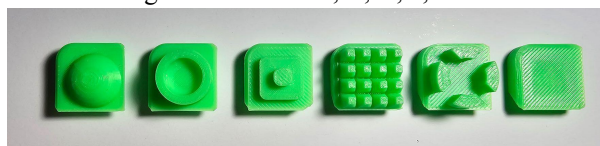
Imagem 47 - Escolha das faces finais

Fases escolhidas para o cubo						Desempate	
A	B	C	D	E		C	160
7	2	4	5	3		G	165
F	G	H				H	135
6	4	4					
Melhor para Pior face de se identificar							
1º (40)	2º (35)	3º (30)	4º (25)	5º (20)	6º (15)	7º (10)	8º (5)
A	F	E	D	G	H	C	B
E	C	A	D	G	H	F	B
A	C	E	D	G	F	B	H
H	G	A	D	C	E	B	F
A	B	G	H	D	F	C	E
A	B	F	E	C	H	D	G
A	G	C	F	H	B	E	D

Fonte: do autor

Portanto, para o produto final foram definidas as faces A, C, D, F e G, além da face sem textura, representadas respectivamente na imagem 48, para o projeto final do cubo mágico acessível.

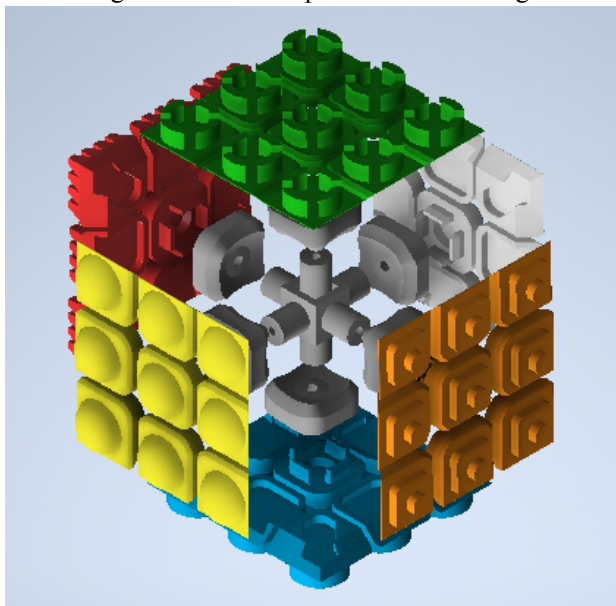
Imagem 48 - Faces A, C, D, F, G e lisa



Fonte: do autor

Para a escolha das cores referentes à cada textura, definiu-se que a face lisa e a face A seriam opostas e respectivamente branca e amarela, por serem as referências táteis e, dessa forma, a base para o aprendizado de resolução do quebra-cabeça. As demais faces foram dispostas de forma que as texturas mais próximas tatilmente e visualmente fossem opostas, para facilitar a compreensão do cubo. Sendo assim, a face C é azul e a face G é verde, enquanto a face D é laranja e a face F é vermelha, como se pode observar na vista explodida do cubo (imagem 49).

Imagem 49 - Visão explodida do cubo mágico



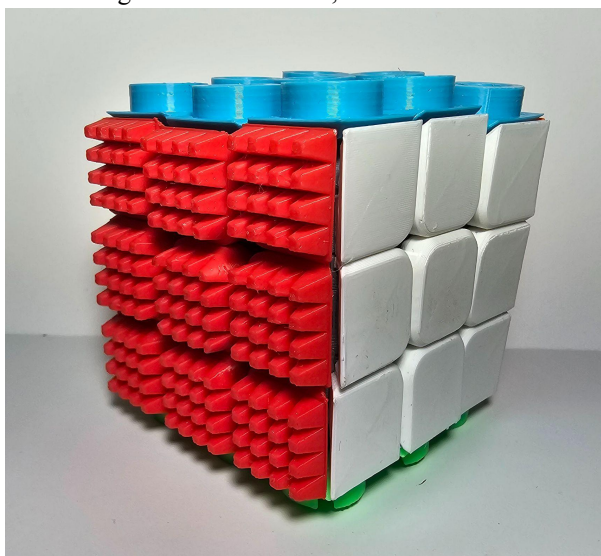
Fonte: do autor

6.2. PRODUTO FINAL

A impressão do projeto foi feita exclusivamente com a impressora *Bambu Lab X1 - Carbon* do FabLab CiteBauru, utilizando filamentos de tipo PLA e ABS. O cubo completo - considerando mecanismos internos e faces com texturas - possui 126 peças impressas em 3D, além de 6 molas para canetas e 6 parafusos rosca máquina cabeça Philips M3 de 12mm.

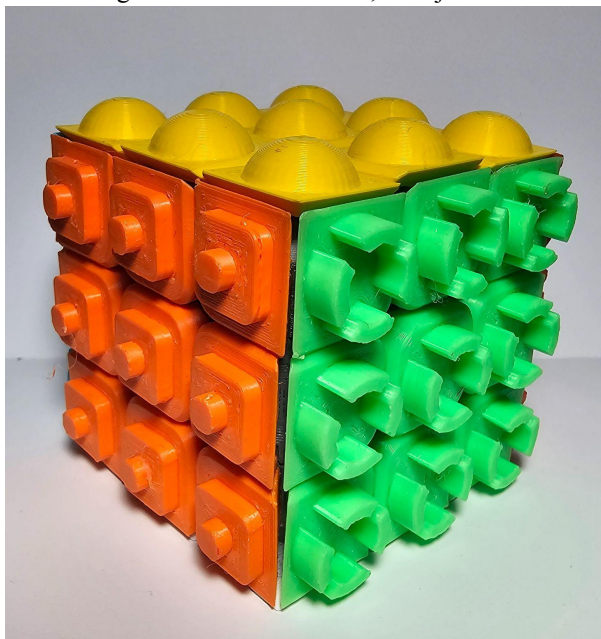
A seguir, estão imagens do cubo mágico acessível para pessoas com deficiência visual em impressão 3D desenvolvido neste projeto de estudo (imagens 50, 51 e 52).

Imagem 50 - Faces azul, vermelha e branca



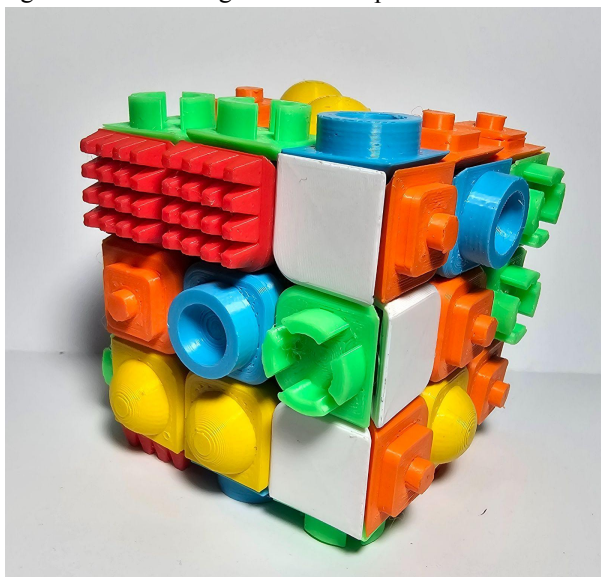
Fonte: do autor

Imagem 51 - Faces amarela, laranja e verde



Fonte: do autor

Imagem 52 - Cubo mágico acessível para PcDV embaralhado



Fonte: do autor

6.3. MANUAL DE MONTAGEM

Um manual com instruções de produção e montagem⁶ do cubo mágico acessível foi ilustrado e diagramado, com o intuito de auxiliar os usuários que fizerem o *download* do arquivo deste para impressão.

⁶ O termo “assemblagem” foi utilizado para referir-se ao processo de construção do brinquedo, ou seja, de junção das peças, para evitar ambiguidade na compreensão, uma vez que o termo de “montagem” de um cubo mágico é popularmente usado para o processo de resolução do quebra-cabeça.

MANUAL PELA INCLUSÃO MAKER



**ASSEMBLAGEM DA IMPRESSÃO 3D
DO CUBO MÁGICO ACESSÍVEL PARA
PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL**



DESENVOLVIMENTO, DIAGRAMAÇÃO E ILUSTRAÇÃO
Ander Haruo Kimoto de Almeida

"O brincar alegra e motiva as crianças, juntando-as e dando-lhes oportunidade de ficar felizes, trocar experiências, ajudarem-se mutuamente; as que enxergam e as que não enxergam, as que escutam muito bem e aquelas que não escutam, as que correm muito depressa e as que não podem correr."

SIAULYS, 2006

IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS

Impressão 3D

Centros
x6



Meios
x12



Cantos
x8



Faces dos Centros
x6



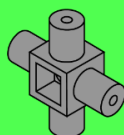
Faces dos Meios
x24



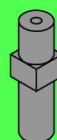
Faces dos Cantos
x24



Mecanismo A
x1



Mecanismo B
x1



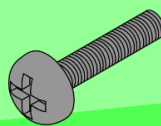
Extras

Molas
x6



para canetas
5mm de diâmetro
10mm de comprimento

Parafusos
x6



rosca máquina
cabeça philips
M3 12mm

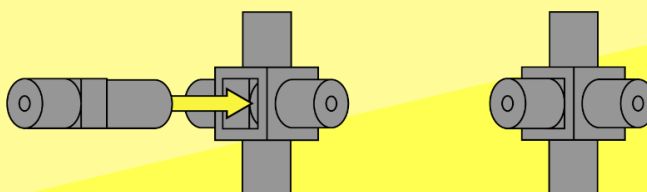
Chave Philips



ASSEMBLAGEM

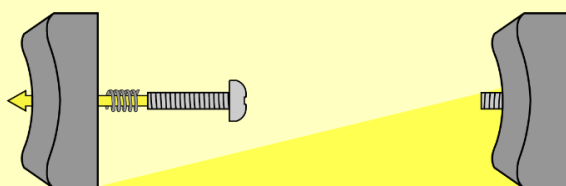
1

Encaixe a haste maior do mecanismo B,
na abertura quadrada do mecanismo A



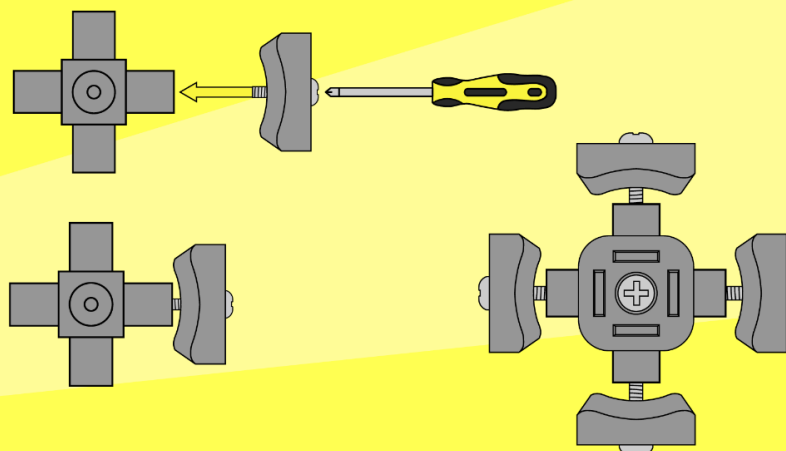
2

Junte como um sanduíche as peças:
centro, mola e parafuso
(repita para todos os 6 conjuntos de peças)



3

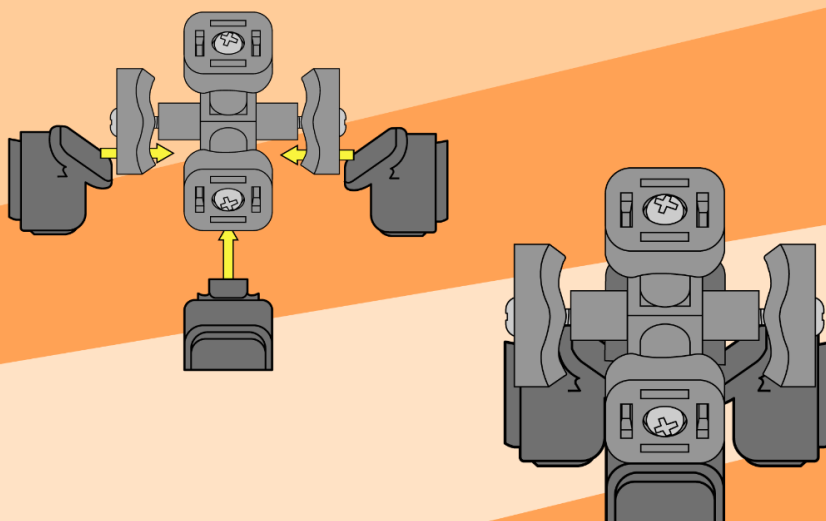
Parafuse as duas etapas anteriores em uma
só peça, repita 5 vezes para formar o núcleo



ASSEMBLAGEM

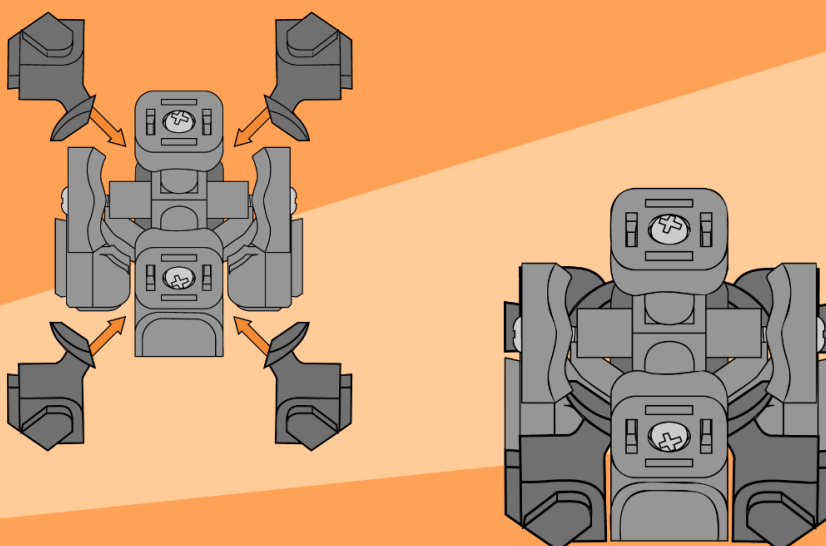
4

Coloque 4 das peças de meios entre as hastes na parte escolhida como inferior do núcleo



5

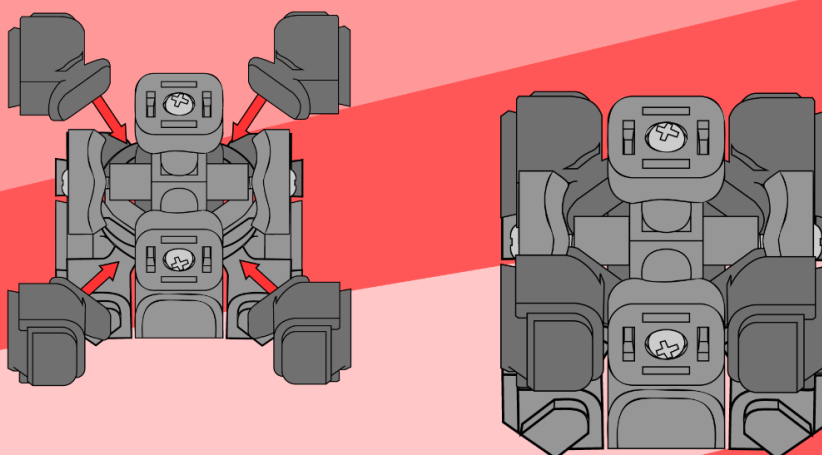
Coloque também as 4 peças de cantos entre as peças de meios, nessa mesma lateral inferior



ASSEMBLAGEM

6

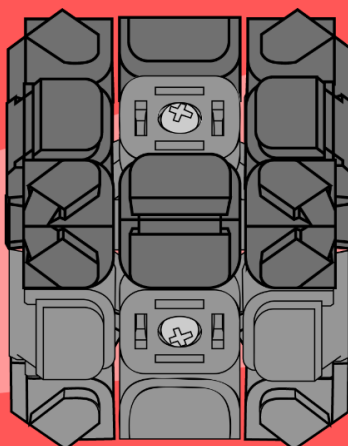
Coloque mais 4 peças de meios, agora na parte central do núcleo, criando um "segundo andar"



7

Repita o passo 5, colocando as peças de cantos que restaram e por último o passo 4, colocando as últimas peças de meios.

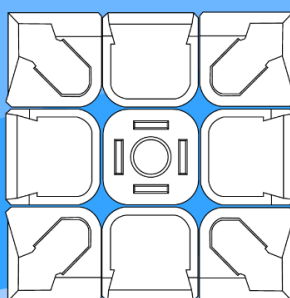
É importante seguir esta ordem, senão você não conseguirá encaixar a última peça



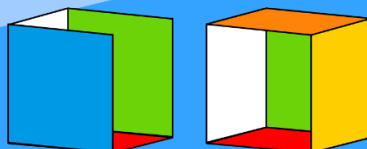
ASSEMBLAGEM



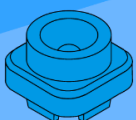
Primeiro, encaixe a face lisa do cubo, considere que a parte inferior das peças ficará disposta da seguinte forma sobre o mecanismo



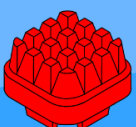
Agora, as faces táteis serão encaixadas, você é livre para posicioná-las na face que quiser, mas abaixo estará ilustrada a forma que segue a posição de cores oficial dos cubos rubik



← opostas →



← opostas →



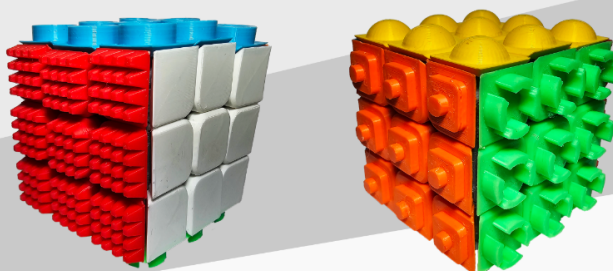
← opostas →



RESULTADO



No final, você terá um cubo mágico acessível
para que todos possam brincar!
Divirtam-se juntos!



REFERÊNCIAS

ROSSI, D. C.; CONTINI, G. C.; ABIKO, K. P. **FAB LAB O Futuro Da Fabricação Digital No Brasil**. Bauru: Editora FAAC – UNESP – Editora da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2023. p. 1–197

Set of plastic or steel elastic springy coils in different shapes

[https://www.freepik.com/free-vector/set-plastic-steel-elastic-springy-coils-different-shapes_13875691.htm#](https://www.freepik.com/free-vector/set-plastic-steel-elastic-springy-coils-different-shapes_13875691.htm#fromView=search&page=1&position=6&uuid=d03b3c93-06e2-4dce-accd-e424a3571718)

Rubiks Cube (solid screwless). Disponível em:

<<https://www.printables.com/model/936580-rubiks-cube-solid-screwless>>. Acesso em: 4 set. 2024

Speed Cube 3X3. Disponível em: <<https://www.printables.com/model/831850-speed-cube-3x3>>. Acesso em: 3 set. 2024.

The Official Rubik's Cube | Products | Rubik's Sensory Cube. Disponível em:

<<https://www.rubiks.com/products/rubiks-sensory>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

SIAULYS, M. O. DE C. **Brincar Para Todos**. Disponível em:

<<http://portal.mec.gov.br/uniafro/192-secretarias-112877938/seesp-esducacao-especial-2091755988/12665-brincar-para-todos>>. Acesso em: 8 nov. 2024.

7. CONCLUSÃO

O redesign do produto cubo mágico, para torná-lo acessível para pessoas com deficiência visual, mostrou-se eficiente no âmbito tátil, com faces que permitem rápida compreensão dos usuários, além de visualmente cativante, com formas lúdicas e cores vivas e distintas, garantindo o envolvimento de ambos os públicos, visual e não visual. Ademais, com a escolha de utilizar a impressão 3D e aderir ao movimento *open source*, o produto torna-se também de fácil acesso, seguindo assim, a proposta de tecnologia assistiva ao propor uma forma de distribuição do arquivo que não dependa de muitas etapas burocráticas, facilitando a inclusão e participação da pessoa com deficiência visual na sociedade.

Durante o desenvolvimento do projeto, principalmente nas etapas de modelagem das texturas, tornou-se evidente que dois dos maiores desafios na criação de produtos acessíveis para PcDV são, a compreensão plena e minuciosa das necessidades do usuário por parte do designer vidente, uma vez que há a carência de vivência pessoal no assunto, e a importância da participação e validação constante do usuário durante o desenvolvimento do projeto, por depender necessariamente de um novo *mockup* físico para cada alteração realizada, para garantir que o problema tenha sido solucionado.

Quanto ao processo de fabricação, notou-se uma limitação do próprio material, filamentos ABS e PLA, pois a textura resultante da impressão 3D, sem intervenção posterior com limas e lixas, causa atrito, impedindo um deslize mais fluido das peças e por conseguinte, uma movimentação mais ágil do cubo. Contudo, é esperado que esse atrito constante, durante a manipulação do quebra-cabeça, torne as peças mais lisas no decorrer de sua vida útil. No mesmo sentido, há incertezas sobre a durabilidade das texturas a longo prazo, uma vez que essas serão submetidas à uma fricção constante entre o material e as pontas dos dedos.

Por fim, pode-se afirmar que as expectativas com o projeto foram alcançadas, tanto no caráter pessoal quanto no experimental, ao se obter uma versão acessível para o cubo mágico. Este quebra-cabeça que criou tantas memórias afetivas nos últimos cinco anos, antecedendo a graduação, passou de um simples passatempo entre pai e filho a um projeto com a expectativa de unir mais pessoas, promovendo a integração e provando que as barreiras de um mundo majoritariamente visual podem ser diminuídas através do design inclusivo, tornando nosso mundo futuro mais acessível a todos.

8. REFERÊNCIAS

All About Rubik's Cube. Disponível em: https://www.cubelelo.com/blogs/cubing/all-about-rubik-s-cube?srsId=AfmBOops0GxsZ_necTaThJSGpBL2_ybLM1DK6Bv_OXlzd34e4jeY3VJz#ruffruff-table-of-contents-item-1. Acesso em: 2 nov. 2024.

ALTER, A. He Invented the Rubik's Cube. He's Still Learning from It. **The New York Times**, 16 set. 2020.

CAMPOS ROSSI, D.; APARECIDA JONSON GONÇALVES, J.; MALCOLM DE BARROS MOON, R. **Design, Inovação e Tecnologia em Tempo Real: Movimento Maker e Fab Labs**. [s.l.: s.n.].

CHEVALIER, K. **Tips to Adapt Games for Children with Vision Impairments**. Disponível em: <https://www.pathstoliteracy.org/tips-adapt-games-children-vision-impairments/>. Acesso em: 30 set. 2024.

F. SALZANO MASINI, E. **A Pessoa Com Deficiência Visual Um Livro Para Educadores**. [s.l.] Vektor Editora, 2007.

HALLIDAY, C. **Crescimento, Aprendizado E Desenvolvimento Da Criança Visualmente Incapacitada Do Nascimento À Idade Escolar**. São Paulo: Fundação Para O Livro Do Cego No Brasil, 1975. p. 19

JULIÃO, C. H. et al. A Deficiência Visual E O Processo De Construção Da cidadania: Um Estudo No Instituto De Cegos Do Brasil Central De Uberaba. **Revista Família, Ciclos De Vida E Saúde No Contexto Social**, v. 1, n. 1, 2013.

KAMISAKI, M. **O Design De Brinquedos Voltados Para as Crianças Com Deficiência Visual**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/96261>.

MATHER, K. **Aids for people with visual impairment**. Disponível em: <https://infocus-charity.org.uk/news-and-stories/blog/aids-for-people-with-visual-impairment/>. Acesso em: 30 set. 2024.

NASCIMENTO BARROS LEAL, D. **Sociedade Brasileira De Visao Subnormal - Conceito De Visão Subnormal**. Disponível em: <https://www.cbo.com.br/subnorma/conceito.htm>. Acesso em: 6 nov. 2024.

O Que É Tecnologia Assistiva? — Ministério Da Saúde. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/s/saude-da-pessoa-com-deficiencia/faq/o-que-e-tecnologia-assistiva>. Acesso em: 8 nov. 2024.

PICULO DOS SANTOS, A. D.; BOTURA JUNIOR, G.; ORSI MEDOLA, F. Innovation in the Design of Inclusive Toys: Development and Evaluation of a Prototype for Visually Impaired Children. **Strategic Design Research Journal**, v. 12, n. 3, 30 mar. 2020.

RAMOS, R. **IBGE aponta que mais de 6 milhões de pessoas têm deficiência visual no Brasil**. Disponível em: <https://www.univali.br/noticias/Paginas/ibge-aponta-que-mais-de-6-milhoes-de-pessoas-tem-deficiencia-visual-no-brasil.aspx>. Acesso em: 22 mar. 2024.

REGAN, B. **Accessibility and design: a failure of the imagination**. New York City, New York, USA: Association for Computing Machinery, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/990657.990663>

Rubik's Cube. Disponível em: <https://www.museumofplay.org/toys/rubiks-cube/>. Acesso em: 1 nov. 2024.

Rubiks Cube (solid screwless). Disponível em: <https://www.printables.com/model/936580-rubiks-cube-solid-screwless>. Acesso em: 4 set. 2024.

SIAULYS, M. O. DE C. **Brincar Para Todos**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/uniafro/192-secretarias-112877938/seesp-esducacao-especial-2091755988/12665-brincar-para-todos>>. Acesso em: 8 nov. 2024.

SOUSA, A. C. D. L. L.; SOUSA, I. S. A Inclusão De Alunos Com Deficiência Visual No Âmbito Escolar. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 6, n. 3, p. 47, 12 jan. 2017.

Speed Cube 3X3. Disponível em: <<https://www.printables.com/model/831850-speed-cube-3x3>>. Acesso em: 3 set. 2024.

The Official Rubik's Cube | Products | Rubik's Sensory Cube. Disponível em: <<https://www.rubiks.com/products/rubiks-sensory>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

THEVIN, L. et al. Inclusive Adaptation of Existing Board Games for Gamers with and without Visual Impairments using a Spatial Augmented Reality Framework for Touch Detection and Audio Feedback. **Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction**, v. 5, n. ISS, p. 1–33, 3 nov. 2021.

WINNICK, J.; PORRETTA, D. **Adapted Physical Education and Sport**. 6. ed. [s.l.] Human Kinetics, 2016.

YU, H.; MONTILHA, R.; FERNANDES, A. Tecnologia assistiva: acesso e uso por pessoas com deficiência visual. **Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP**, p. 1–1, 2019.