

**Universidade de Brasília**

Heitor Lôbo Campos

## **Relatório de diplomação em Projeto de Produto**

Desenvolvimento de móveis para ambientes escolares fabricados com roteadora CNC.

Brasília - 2018

CAMPOS, Heitor Lôbo.

Relatório de Diplomação em Projeto de Produto: Desenvolvimento de móveis para ambientes escolares fabricados com roteadora CNC. Brasília: UnB, 2018.

Orientadora: Nayara Moreno de Siqueira

## **AGRADECIMENTOS**

A meus colegas e ex-colegas da Universidade de Brasília, Jales, Pedro Francisco, Manuela, Luíza Maria, Nayara, Rafael, Pedro e Vítor Henrique, que sempre me ouviam e me inspiram a fazer o meu melhor.

Agradeço muito a André, Bruno, Guilherme, Pedro, e toda a comunidade do Brasília Fab Lab por me darem a oportunidade de aprimorar meu design e sempre apoiarem meus projetos, este incluso.

E por fim a meus pais, Cristian e José Eduardo, e a toda minha família, que me apoiaram na minha escolha de carreira e sempre incentivaram meu estudo e criatividade.

## RESUMO

O trabalho apresentado é o relatório da disciplina Diplomação em Projeto de Produto, do curso de Design da Universidade de Brasília. Este projeto propõe o desenvolvimento de móveis escolares produzidos na *roteadora CNC* e todo o seu sistema e espaço de fabricação. Os objetivos principais são explorar as capacidades de fabricação da roteadora CNC em e para um ambiente escolar, propor uma integração destes métodos na escola e sua comunidade, e promover o maior envolvimento do aluno brasileiro nas instalações de sua escola. Cada peça produzida passou por um período extenso de exploração do processo de fabricação através de protótipos 1:1.

Palavras-chave: Design, Projeto de Produto, Mobiliário, Madeira, Fabricação Digital

## **ABSTRACT**

The following work proposes the development of school furniture manufactured on a CNC Router and all its integrated digital-fabrication spaces and manufacturing systems. The main goals are to explore the fabrication capacity of the *CNC Router* on a school environment, propose an integration of these methods with the school and its community, and promote a broader involvement of the Brazilian student with his/hers school's installations. Each product assembled went through an extensive period of exploring its manufacturing process through prototypes on a 1:1 scale.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2. A PESQUISA</b>	<b>11</b>
2.1 A roteadora e a cultura maker	12
2.2 Restrições e possibilidades da roteadora	12
2.3 Madeira compensada	14
2.4 A parametrização e sua necessidade	15
2.5 O centro de fabricação ideal	17
2.6 Os potenciais das escolas que possuem o espaço	19
2.7 Integração nas disciplinas de ensino médio	19
2.8 A organização da sala de aula	20
<b>3. CONCEITUAÇÃO E FABRICAÇÃO DO PRODUTO</b>	<b>22</b>
3.1 Definição do projeto	22
3.2 Necessidades ergonômicas do projeto	23
3.3 Experimentos com a roteadora	24
3.4 Processo de iteração/protótipos	28
3.5 Versões Finais	40
3.6 Encaixes utilizados	43
3.7 Método de corte e tempo de corte/acabamento	45
3.8 Placas para transporte e distribuição	46
3.9 Manual de montagem	50
<b>4. CONCLUSÃO</b>	<b>55</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>56</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Lado de corte	13
Figura 02 - Diferença entre brocas e fresas	13
Figura 03 -Tipos comuns de fresas	14
Figura 04 - Como dogbones são usados	14
Figura 05 - Camadas da madeira compensada	15
Figura 06 - Sala de aula em arranjo tradicional, carteiras em fila	21
Figura 07 - Dimensões mínimas e máximas propostas	24
Figura 08 - Desenho técnico da Estante 01	25
Figura 09 - Estante 01 montada	26
Figura 10 - Banquetas fabricadas com Roteadora CNC	27
Figura 11 - Banquetas fabricadas com Roteadora CNC	27
Figura 12 - Rascunhos da cadeira	28
Figura 13 - Rascunhos da mesa	29
Figura 14 - Rascunhos da mesa	29
Figura 15 - Primeiros modelos 3d realizados da cadeira	30
Figura 16 - Desenho isométrico da primeira versão completa da cadeira	31
Figura 17 - Desenho isométrico da primeira versão terminada da carteira	32
Figura 18 - Foto da primeira versão montada da mesa	33
Figura 19 - Desenho isométrico da versão final da mesa	34
Figura 20 - Desenho isométrico da versão número 4 da cadeira	35
Figura 21 - Primeira chapa usinada	36
Figura 22 - Primeiro Protótipo da cadeira sendo usinado	37
Figura 23 - Desenhos isométricos da versão final da cadeira	39
Figura 24 - Renderização do modelo final da cadeira escolar	40
Figura 25 - Renderização do modelo final da mesa escolar	41
Figura 26 - Renderização do conjunto final	42
Figura 27 - Esquemática do encaixe de inserção	43
Figura 28 - Esquemática do encaixe de cruzamento	43
Figura 29 - Esquemática do encaixe em gancho	44
Figura 30 - Esquemática do encaixe de inserção lateral	45
Figura 31 - Vetor da placa final da mesa estudantil	48
Figura 32 - Vetor da placa final da cadeira estudantil	49
Figura 33 - Primeira página do manual de montagem da cadeira	51
Figura 34 - Verso do manual de montagem da cadeira	52
Figura 35 - Primeira página do manual de montagem da mesa	53
Figura 36 - Verso do manual de montagem da mesa	54

## 1. INTRODUÇÃO

Este projeto une duas situações em desenvolvimento no Brasil atual: o surgimento da fabricação digital e a taxa de evasão do ensino médio brasileiro.

A fabricação digital proporciona uma democratização de meios de fabricação, aumentando assim as possibilidades de atuação do design, e possibilitando um maior acesso do público a esses métodos. Além disso, esse advento promove a diminuição dos custos de fabricação e do nível de complexidade necessário para operação, uma vez que todas requerem apenas um computador e um programa *open-source* para se comunicar com a máquina de execução.

Neste ambiente, surgiram vários métodos e estilos de design ao redor das ferramentas de fabricação digital. Desde luminárias feitas para a impressão 3D a mobiliários criados ao redor da roteadora CNC, que não só possuem uma estética que reflete o maquinário usado para fabricá-los (chamado "*router aesthetics*") mas também refletem o espírito de democratização ao disponibilizar os projetos abertamente para serem baixados na internet.

A roteadora CNC significa Controle Numérico Computadorizado (Computer Numerical Control), em termos simples, é uma máquina com uma ferramenta em sua "ponta" em que seus movimentos são controlados por um computador. É uma fresadora automatizada que possibilita cortes complexos de materiais em chapa ou pedaços, em modelos mais avançados é possível cortar metais e ter um controle maior através do movimento adicional da rotação nos eixos. Os modelos mais populares são mais simples, porque possuem apenas movimento nos três eixos, x, y, e z. Geralmente, não conseguem usinar materiais muito resistentes como metais, então ficam limitados a plásticos, espumas e, especialmente, madeiras.

Na crise atual no sistema escolar brasileiro, as altas taxas de evasão no ensino médio público brasileiro de 11% (média nacional) são uma estatística que chama muito a atenção, não só pelas consequências de tais evasões na situação de

desigualdade econômica do país, mas pelo fato de que, de acordo com o Censo Escolar feito pelo Ministério da Educação, um fator que contribui muito para a situação atual é a falta de estrutura das escolas na rede pública.

No ensino médio, 12% das escolas não possuem biblioteca, 10,7% não possuem água, e cerca de 37% não têm estrutura o suficiente para estudantes com deficiência motora.

Sendo controlado por computador, a roteadora CNC permite que projetos complexos de corte de madeira sejam feitos. Isto abre possibilidades de móveis que são montados através apenas de encaixes de madeira, cortados em chapas de compensado. Já que o projeto do que for cortado é feito no computador e pode ser parametrizado, também é possível criar móveis modulares que se encaixam para cada usuário e ambiente.

Estas características são ideais para um projeto no ambiente escolar, visto que é um ambiente que precisa de vários móveis, que sejam simples de montar e que possam se adaptar às medidas diferentes de cada aluno.

Integrar a participação proposta pela fabricação digital com o ensino médio oferece um bom jeito de promover uma maior participação do estudante brasileiro na escola. Isso obviamente não resolverá todos os problemas citados aqui, mas criar um ambiente onde o estudante tem a capacidade de não só poder cuidar de sua própria escola e material independentemente, mas também pode aprender técnicas e habilidades importantes para seu futuro que o ajudem a aprimorar a estrutura existente é um bom passo para melhorar a situação do ensino no país.

Partindo desse contexto, resolvi criar um projeto que não só fosse um design de móveis, mas também móveis que fossem integrados em seus ambientes de uso desde a fabricação, onde os produtos podem ser adaptados para as necessidades particulares dos usuários e a modularidade do design pode ser explorada, além

disso, sua fabricação pode ser integrada às disciplinas da escola, o que contribui para o desenvolvimento técnico e profissional dos alunos.

O objetivo deste projeto é desenvolver móveis escolares produzidos na roteadora CNC e todo o seu sistema e espaço de fabricação. Para isto, será necessário:

- projetar mobiliário de madeira que seja fácil de fabricar, dar acabamento, e montar
- modelar todos os móveis parametricamente para que os projetos possam ser adaptados facilmente
- planejar a inserção da fabricação/montagem dos móveis no currículo escolar de ensino médio

Este projeto utiliza uma metodologia pessoal baseada no conceito de “desenvolvimento ágil”. Este modelo segue quatro conceitos básicos, Pesquisa, Especificação, Iteração e Prototipagem. Nenhum desses passos precisa ser seguido em ordem, mas são parte da cada ciclo de protótipos, já que necessariamente cada solução precisa ser testada.

Em Pesquisa, todo tipo de informação relevante ao problema que deve ser resolvido é coletada, aqui também conta como informação resultados de outros protótipos já feitos em ciclos anteriores, já que o propósito é sempre otimizar o design feito nas iterações.

Em Especificação, tudo o que foi coletado em Pesquisa é usado para criar objetivos gerais para o próximo ciclo.

Em Iteração, os objetivos gerais guiam o processo de criação de ideias. Todas as ideias criadas são documentadas e válidas, sejam em texto, ilustrações ou até modelos tridimensionais.

Em Prototipagem, as ideias mais viáveis serão testadas. Isso vale tanto para pequenas partes do projeto, como por exemplo, juntas ou detalhes estéticos, como para funções gerais e importantes, como a função geral do próprio projeto/objeto.

Como dito antes, nem sempre a ordem será seguida a letra, muitas vezes é possível passar de Prototipagem para Iteração diretamente, sem necessidade da Pesquisa ou Especificação.

## 2. A PESQUISA

Aqui apresento todos os dados de pesquisa e conhecimentos prévios que foram necessários para a conceituação do trabalho.

### 2.1 A roteadora e a cultura maker

Como dito anteriormente, a roteadora é uma fresadora automatizada que permite que cortes complexos sejam feitos e refeitos de modo semi-industrial. Isso permite que superfícies avançadas sejam feitas em madeira ou espuma, com o uso de diversas fresas e ciclos diferentes. Um dos jeitos mais simples de se usar a CNC é justamente com os cortes em chapa, que permitem a fabricação de diversos produtos diferentes.

Com o aumento da disponibilidade comercial dessas máquinas em grande ou pequeno porte, suas técnicas de fabricação começaram a ser amplamente usadas e compartilhadas na comunidade *maker*.

*Maker* é o nome genérico usado para qualquer pessoa que participa de comunidades *hackers* ou DIY (*do it yourself*). Todas essas comunidades tem como seu centro a internet, que permite o compartilhamento dos projetos, tanto como técnicas de fabricação quanto os arquivos dos projetos disponíveis de graça para outros poderem fazer nas próprias máquinas.

A roteadora CNC é uma das máquinas no repertório dos *makers* que os permite fabricar diversos projetos diferentes e compartilhá-los na internet. Ela pode ser combinada com outras tecnologias (estantes de madeira com juntas impressas em 3d, por exemplo), o que dá ao criador um grande leque de possibilidades.

## 2.2 Restrições e possibilidades da roteadora

Quando se projeta para a roteadora CNC, existem vários aspectos que devem ser considerados.

Uma de suas grandes restrições em qualquer escala é os seus eixos, que definem a largura e profundidade de alcance de seus cortes. É possível marcar uma origem na cama (a base de onde o material é cortado) e mover o material, caso este não caiba inteiro na máquina, mas a possibilidade de erro no corte é consideravelmente maior.

Na profundidade, a CNC não consegue alcançar certas alturas. No caso da roteadora usada neste projeto, o máximo é de 75mm, ou seja, qualquer material mais espesso que isso será impossível de ser usinado. Além disso, materiais não podem ser usinados pela parte oposta a fresa, então se não é possível evitar esta necessidade será necessário usinar a peça duas vezes, no topo e na parte de baixo.

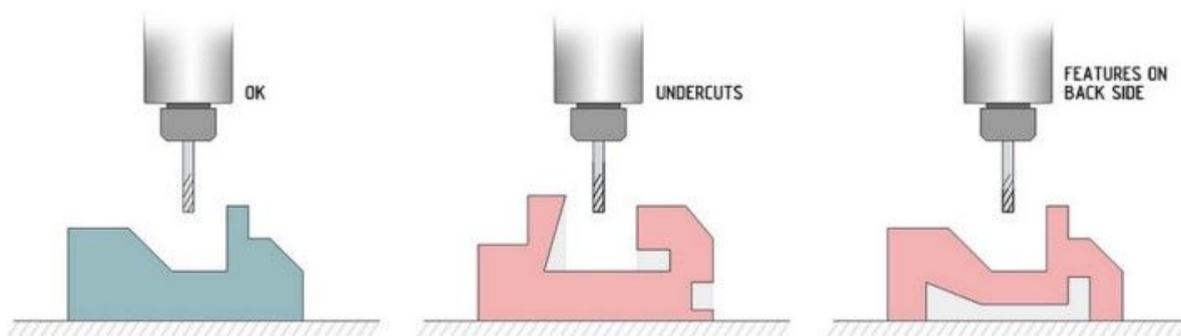


Figura 01 - Lado de corte

Fonte: Brasília Fab Lab

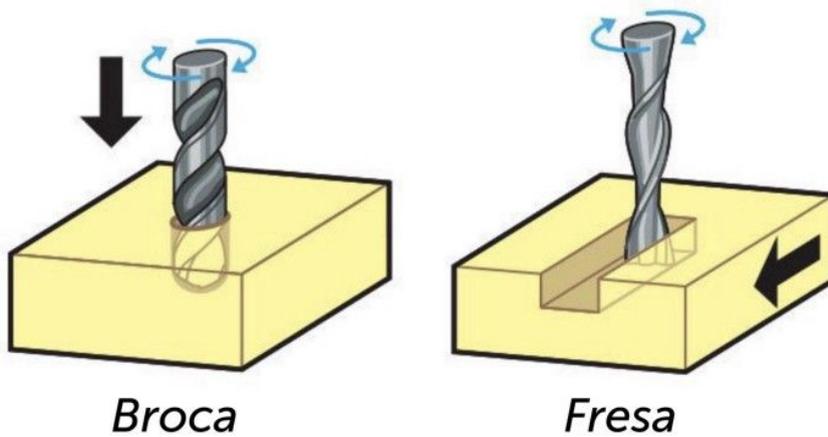


Figura 02 - Diferença entre brocas e fresas

Fonte: Brasília Fab Lab

Cada fresa tem sua espessura e formato. Formatos diferentes fazem acabamentos diferentes, uma fresa reta é ótima para cortes diretos em chapa, já uma fresa redonda é melhor para cortes “tridimensionais” em superfícies. Suas espessuras também fazem diferença, já que em cortes que exigem cantos internos agudos ou retos a fresa não consegue fazê-los, então se extrapola o corte da máquina nesses casos para fazer o que se chamam *dogbones*, que são cilindros nas pontas dos cantos que levam em conta a espessura da fresa.

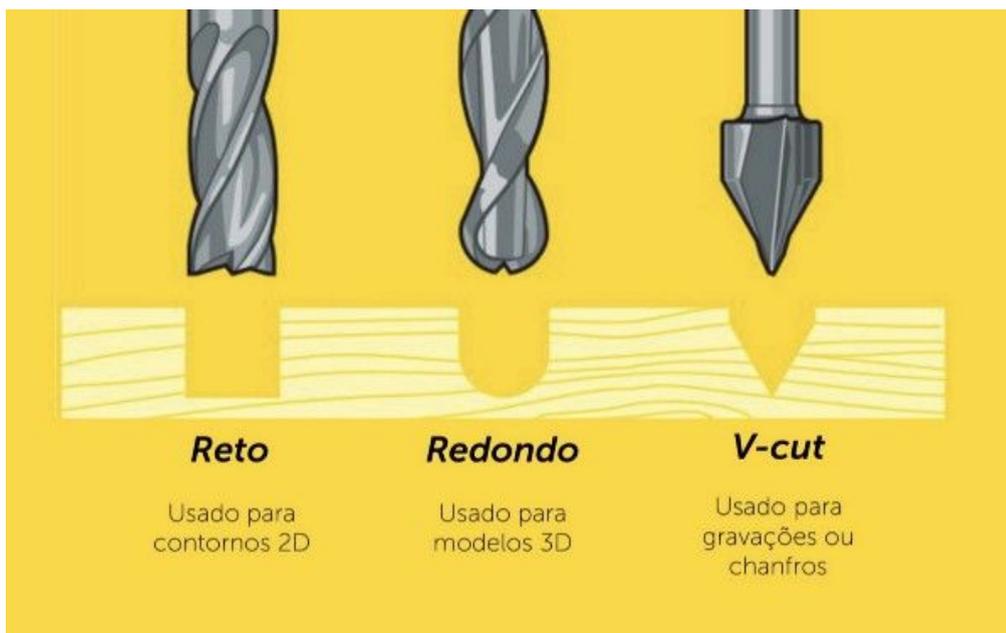


Figura 03 -Tipos comuns de fresas

Fonte: Brasília Fab Lab

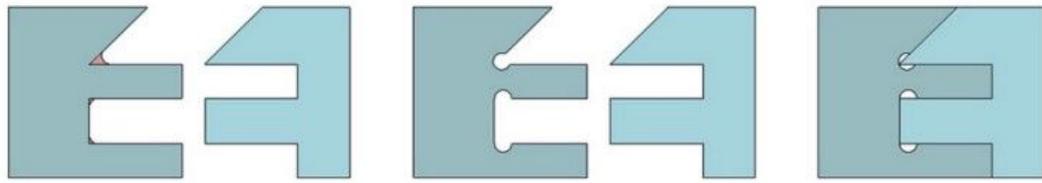


Figura 04 - Como *dogbones* são usados

Fonte: Brasília Fab Lab

### 2.3 Madeira compensada

A madeira compensada é um derivado de madeira inventada por Immanuel Nobel que é composta de de diversas camadas finas de entalhe que são coladas umas às outras, cada camada tem seu grão perpendicular à adjacente. Essa configuração permite que chapas de compensado tenham uma resistência alta a rachamentos, torção, e um nível alto de resistência à força.



Figura 05 - Camadas da madeira compensada

Fonte: autor

Usada em vários projetos, de construções civis a mobiliários, a compensada foi escolhida para este projeto não só por suas propriedades físicas, mas pelo seu preço acessível, facilidade de manuseio e acesso fácil.

## **2.4 A parametrização e sua necessidade**

A partir da matéria-prima escolhida, temos limitações de fabricação relacionadas, especialmente, à espessura da chapa.

Por mais que a madeira compensada seja uma madeira industrial, possível de ser feita de maneira extremamente numerosa e previsível, ela peca em um aspecto fundamental para a fabricação proposta: sua espessura.

Sendo que os móveis fabricados têm que ser fáceis de montar e devem evitar ao máximo qualquer complexidade excessiva, os encaixes feitos devem garantir a durabilidade do produto. Infelizmente, esses encaixes também dependem da espessura da chapa escolhida.

Das chapas presentes no meu local escolhido de fabricação (o Brasília Fab Lab, na 710 norte), a taxa média que foi tirada de três pontos (extremos esquerdos, direitos e meio, com um paquímetro eletrônico) de quatro chapas é de cerca de 18.145mm de espessura em chapas de 18mm.

Do ponto de vista de uso da madeira compensada naval típico, essas pequenas variações não fazem diferença, mas como dito anteriormente, 0.1 ou 0.2 milímetros podem sim fazer uma grande diferença nos encaixes finais, tendo que, dependendo da diferença, ser colados ou cortados para que os encaixes se façam úteis, ou no pior dos casos, até desperdiçar um modelo cortado.

Com isso, ter um modelo paramétrico, ou seja, um modelo que tenha um histórico e parâmetros que reajam de acordo com as mudanças dos dados, como espessura, ângulo de apoio e etc é de extrema importância, já que ele deve ser

adaptado a não só as falhas da madeira, mas as diferentes necessidades de cada aluno, fazendo assim um projeto devidamente modular.

O software que vai ser usado para modelagem neste projeto será o *Fusion 360*, da *Autodesk*. Os projetos feitos neste programa todos possuem um histórico de mudanças que pode ser alterado e parâmetros que podem ser definidos que afetam as dimensões do objeto. No momento de escrita deste relatório, ele está disponível para estudantes de graça, e possui todas as funções básicas de um programa CAD (*Computer Aided Design*).

## **2.5 O centro de fabricação ideal**

Para a usinagem de móveis ser possível, o espaço de fabricação deverá ter alguns requisitos mínimos, estes sendo equipamentos necessários quanto treinamento de técnicos. Os requisitos são:

- Uma roteadora CNC de no mínimo 2m x 2m para caber as placas médias de compensado.
- Para a roteadora, é necessário um aspirador para coletar os restos de usinagem e é recomendado um compressor para a limpeza do espaço.
- No acabamento das peças, será preciso lixas de 120, 220 e 320. Para facilitar o trabalho é altamente recomendado que o espaço possua lixadeiras orbitais.
- Materiais básicos de marcenaria para qualquer manutenção e montagem dos móveis, com destaque para:

- Parafusadeiras

- Para montagem, desmontagem e ajustes nos móveis

- Cola para madeira

- Em caso de necessidade de encaixes com muita folga, cola pode ser utilizada para reforçar

- Sargentos

Ajudam as partes a continuarem juntas quando coladas

- Formão

Ajudam a destacar partes usinadas das placas sem machucar a madeira

- Martelos de metal

Em caso de necessidade de mais impacto no encaixe. Recomenda-se usar um pedaço descartado de madeira para transferir a força, caso contrário irá marcar

- Martelo de borracha e/ou madeira

Ajudam no encaixe das peças

- Serra universal ou “tico-tico”

Caso algum pedaço precisa ser ajustado, as serras ajudam no corte da peça. Além disso, ajudam no ajuste do tamanho de chapas

- Ceras e seladora para acabamento

Cada móvel precisará de algum acabamento, recomenda-se ceras orgânicas, como de abelha, ou seladora.

Em questão aos espaços e supervisores:

- Espaço para armazenamento dos materiais, de no mínimo 2m x 1m x 3m (ou mais)
- Um técnico para supervisionar as atividades, treinar alunos ou profissionais que desejam usar o espaço, e realizar manutenção dos equipamentos.
- Equipamentos de segurança:

- Óculos de proteção
- Luvas
- Protetores de ouvido
- Máscaras de poeira
- Máscaras com filtro

Além dos requisitos, aqui listo recomendações. São aspectos que não são necessários para a execução segura das atividades mas contribuem para a qualidade da área de trabalho.

- Espaço de no mínimo 54 m<sup>2</sup>
- Bancadas amplas para uso de ferramentas
- Serra de fita e de mesa (alunos devem ser supervisionados ao usar este equipamento)
- Pé direito alto (acima de 3m)

## **2.6 Os potenciais das escolas que possuem o espaço**

Para uma escola de pequeno a médio tamanho, um espaço de fabricação com uma roteadora disponibilizaria à escola um potencial de independência maior em relação ao mercado de mesas e materiais escolares. Além disso, permite que os alunos se envolvam na manutenção do próprio espaço, incentivando-os a cuidar e investir no ambiente escolar enquanto aprendem habilidades técnicas que ajudarão nas matérias escolares e em um futuro ambiente profissional.

Sendo possível uma escola fabricar seus próprios móveis, seu leque de possibilidades em instalações aumenta, pois agora usufruindo de seu espaço, os móveis podem ser fabricados com os ambientes particulares da escola em mente. Ou seja, um ambiente de educação que possui o poder de fabricar sua própria mobília pode adaptar os móveis à seus ambientes, em vez de fazer o contrário, caso tenha que comprar mesas e cadeiras pré-desenhadas.

Ao incluir os alunos na fabricação de suas mesas e cadeiras pessoais, o ambiente escolar é integrado à educação do aluno, incentivando o aluno de modo docente e em relação a sua sala de aula, pois reconfigurando sua relação com os seus móveis de uso diário o aluno não mais vê sua mesa escolar como apenas uma ferramenta genérica em seu dia-a-dia, mas como algo fabricado e cuidado por si e seus colegas, incentivando-o a cuidar e melhorar seu ambiente de aprendizado, já que agora ele ou ela possui o poder de mudar seu arredores de modo mais concreto.

## **2.7 Integração nas disciplinas de ensino médio**

A fabricação dos móveis pode ser integrado nas disciplinas de Ensino Médio para reforçar os conteúdos com os alunos que interagirem com o processo. As matérias propostas são Química, Física e Inglês.

Para o conteúdo de Física, o aluno tem a oportunidade de reforçar várias de seus estudos relacionados a força mecânica, em especial forças centrípetas e colisões.

Em Química, os acabamentos das madeiras são um grande ponto de início para mostrar o aluno composições orgânicas, densidade e forças intermoleculares.

Já que a maior parte da comunidade maker que disponibiliza projetos e conhecimentos de graça na internet é internacional, boa parte dos textos se encontram em Inglês, dando ao aluno uma ótima chance de praticar seus conhecimentos ao incentivá-lo a participar das discussões dessas comunidades.

A habilidade de poder ler e compreender textos expositivos é extremamente importante não só para o futuro profissional mas também para a vida pessoal do aluno, já que a integração e a globalização expõe os jovens cada vez mais ao vocabulário anglofônico.

## 2.8 A organização da sala de aula

A configuração tradicional de mesas das salas de aula é usada a mais de um século. Apesar de todo este tempo de uso demonstrar que ela ao menos funciona, esta configuração também é um fator essencial que é criticado nas escolas contemporâneas.

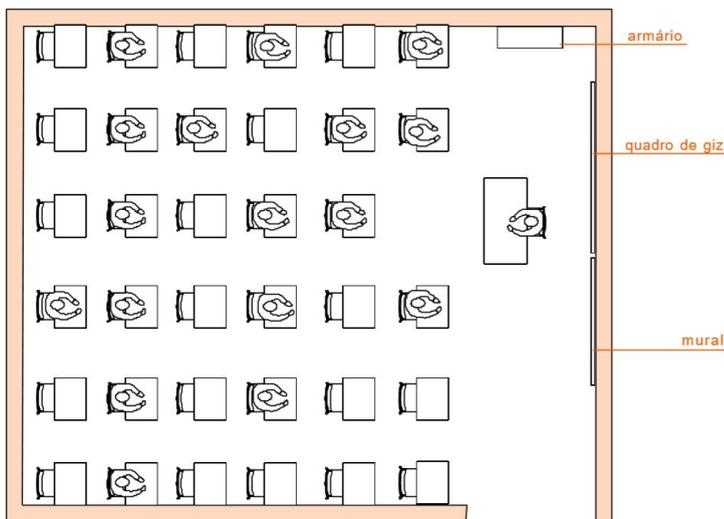


Figura 06 - Sala de aula em arranjo tradicional, carteiras em fila

Fonte: Ensino fundamental: mobiliário escolar, FUNDESCOLA

A disposição em fileiras ordenadas e hierárquicas favorece o docente, já que sua posição no espaço é a mais destacada, mas infelizmente acaba desencorajando o aluno a participar, pois a disposição o deixa sentindo isolado na sala de aula.

Além dos problemas de participação, a maior presença de materiais e atividades multimídia e multidisciplinares nas escolas deixa este modelo cada vez mais frágil, pois muitas vezes essas atividades são feitas em grupo, o que implica que ou os alunos vão ter que organizar suas próprias mesas individuais ou que essas atividades terão que ser feita em um espaço separado.

Muitas propostas que visam remediar esses problemas vão além da sala de aula, pois as tendências escolares do século XXI exigem uma conexão maior entre

materiais eletrônicos e analógicos. Os projetos arquitetônicos das escolas já levam em conta a comunicação entre os espaços, eliminando a noção da sala de aula única, e contribuindo para o conforto dos alunos usando espaços abertos com sofás e mobílias de conforto, deixando o aluno quando possível escolher onde quer estudar e se prefere se isolar mais ou ficar em um ambiente mais sociável.

Em sumo, a mesa/cadeira individual não parece que irá sumir na escola do futuro, mas sim que abrirá espaço para que mesas de grupo também sejam amplamente utilizadas, e que seu layout tradicional na sala não será mais utilizado em prol de uma configuração que facilite a comunicação e colaboração aluno-professor.

### **3. CONCEITUAÇÃO E FABRICAÇÃO DO PRODUTO**

Após todas as informações necessárias terem sido levantadas, o conceito e a geração de alternativas do produto começaram a ser feitas.

#### **3.1 Definição do projeto**

Primeiramente, as necessidades concernentes ao mobiliário de uma escola foram consideradas e existem várias possibilidades de espaços e móveis, uma escola necessita de cadeiras e estantes, então para a prototipagem completa dos produtos ser possível, limitei os móveis projetados neste projeto aos da sala de aula.

Na configuração da sala, resolvi focar nas mesas individuais, devido ao seu custo mais baixo de protótipo e que por mais que seu uso seja ubíquo nas disposições tradicionais, a mesa individual ainda possui um espaço pois permite o aluno ter privacidade quando desejado. Além disso, gostaria também de projetar nesta primeira etapa algo que possa ser usado nas salas de aula brasileiras, que em média ainda seguem a organização tradicional.

Em uma sala de aula do ensino médio tradicional, existem apenas dois tipos de móveis necessários para que as aulas sejam dadas: cadeiras e mesas.

Todas as cadeiras da sala podem ter projetos iguais, no máximo medidas diferentes adaptadas a cada aluno. Nas mesas existem dois tipos, a mesa do aluno e a mesa do professor.

Em uma mesa, é necessário haver espaço horizontal o bastante para o aluno ter conforto em colocar seu material, mas pouco o bastante para que a mesa seja móvel e individual. Além disso, é essencial haver um apoio abaixo do tampo da mesa para que o aluno guarde o material que ele não está usando no atual momento.

Na mesa do professor não há mais a necessidade de um apoio de materiais, mas o tamanho de seu tampo tem que ser maior para permitir o docente ter flexibilidade e espaço para depositar seus materiais.

### **3.2 Necessidades ergonômicas do projeto**

Ao fazer os modelos tridimensionais dos móveis, usei as normas da ABNT NBR 14006 (Móveis escolares, Assentos e mesas para instituições educacionais, Classes e dimensões), e da NBR 14007 (Móveis escolares - Assentos e mesas para instituições educacionais).

As medidas sugeridas foram um ótimo ponto de início, já que o conforto do usuário está ligado com as dimensões da mesa, que por sua vez está ligada às dimensões da cadeira.

Usei em especial a proporção entre o tamanho vertical da mesa e da cadeira, visando um espaço confortável entre o assento e o apoio (h2, próxima imagem)

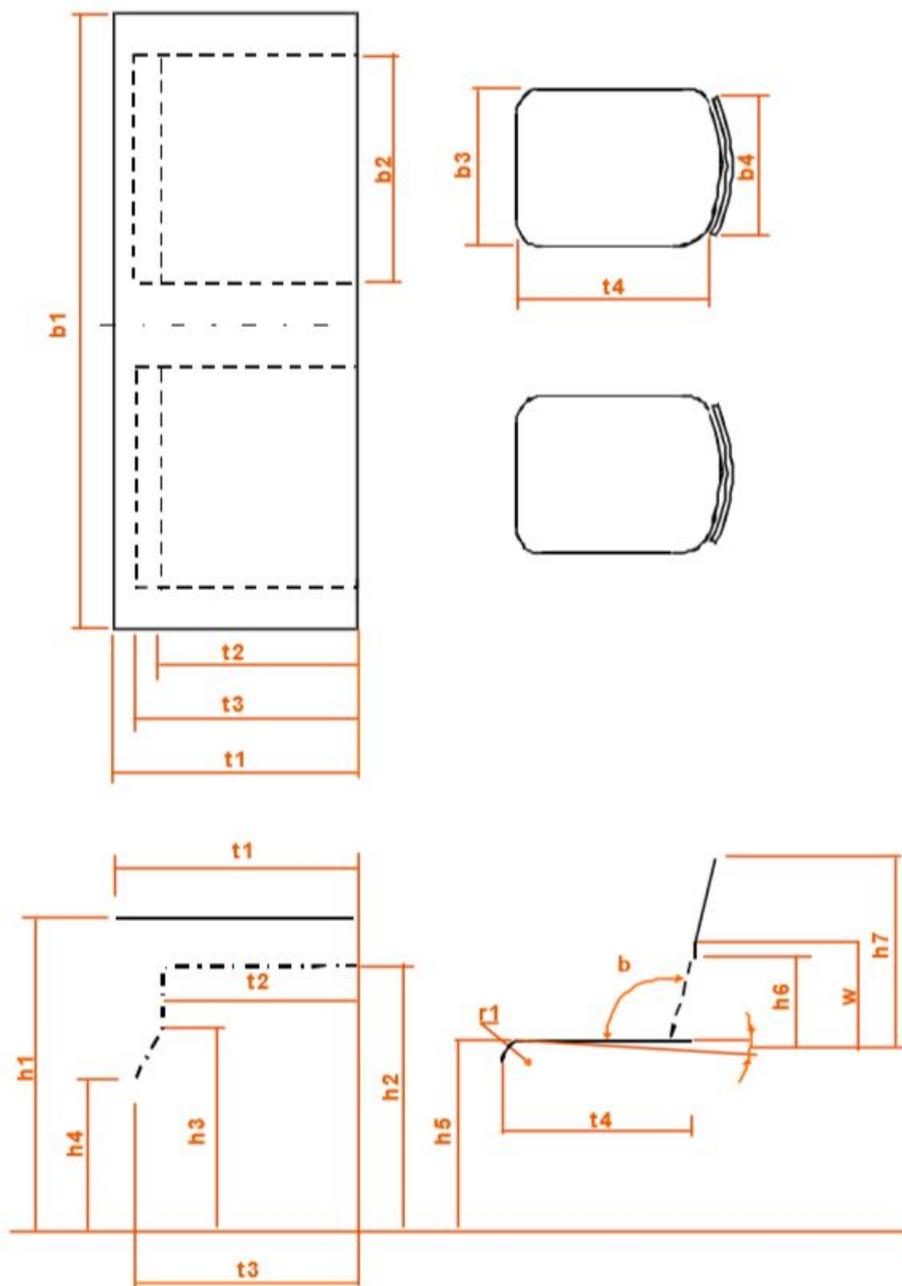


Figura 07 - Dimensões mínimas e máximas propostas  
 Fonte: Ensino fundamental: mobiliário escolar, FUNDESCOLA

### 3.3 Experimentos com a roteadora

Para me familiarizar com o processo de design para a roteadora CNC, foram executados pequenos projetos pessoais. Por meio deles, foi possível descobrir as diversas variáveis que existem na fabricação digital com madeira.

O primeiro experimento foi uma pequena estante, de apenas duas prateleiras. Usei encaixes de cruzamento e pela primeira vez testei encaixes em gancho, só que neste caso ganchos altos, que permitem o encaixe ser mais resistente.

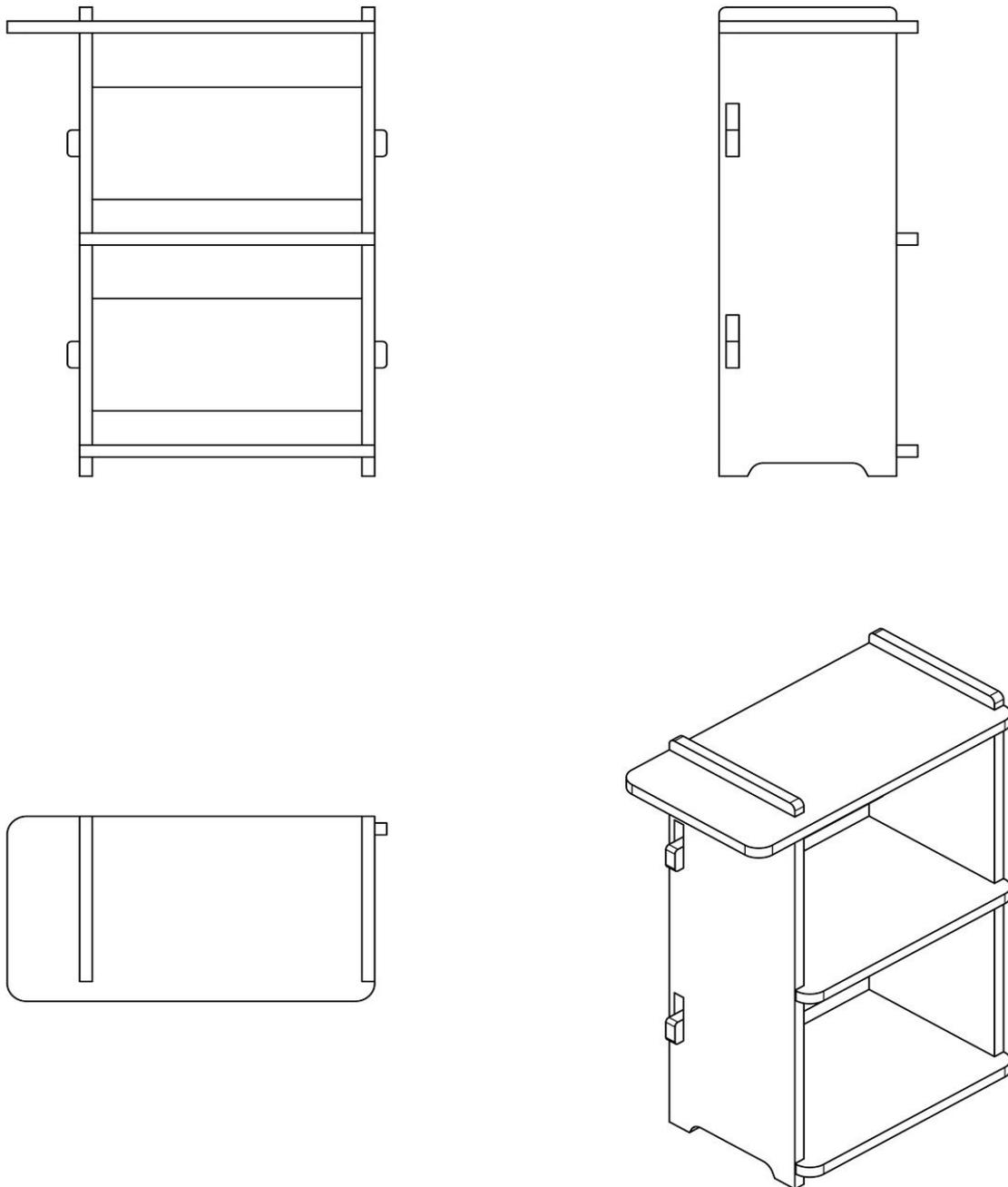


Figura 08 - Desenho técnico da Estante 01  
Fonte: autor



Figura 09 - Estante 01 montada  
Fonte: autor

Além da Estante 01, fiz vários outros projetos que não foram diretamente relacionados com esta proposta, mas me possibilitaram um maior leque de conhecimento do método de fabricação.

Esses projetos foram extremamente importantes para eu poder me familiarizar com a roteadora CNC, eles me permitiram aprender todos os possíveis erros e tolerâncias, assim fazendo o processo de design dos móveis finais mais rápido e com menos erros.



Figura 10 - Banquetas fabricadas com Roteadora CNC  
Fonte: Brasília Fab Lab



Figura 11 - Banquetas fabricadas com Roteadora CNC  
Fonte: Brasília Fab Lab

### 3.4 Processo de iteração/protótipos

Uma vez decidido a direção geral do projeto, iniciei os rascunhos para o projeto de uma cadeira e uma mesa escolar feitas para serem adaptadas às dimensões de cada aluno.

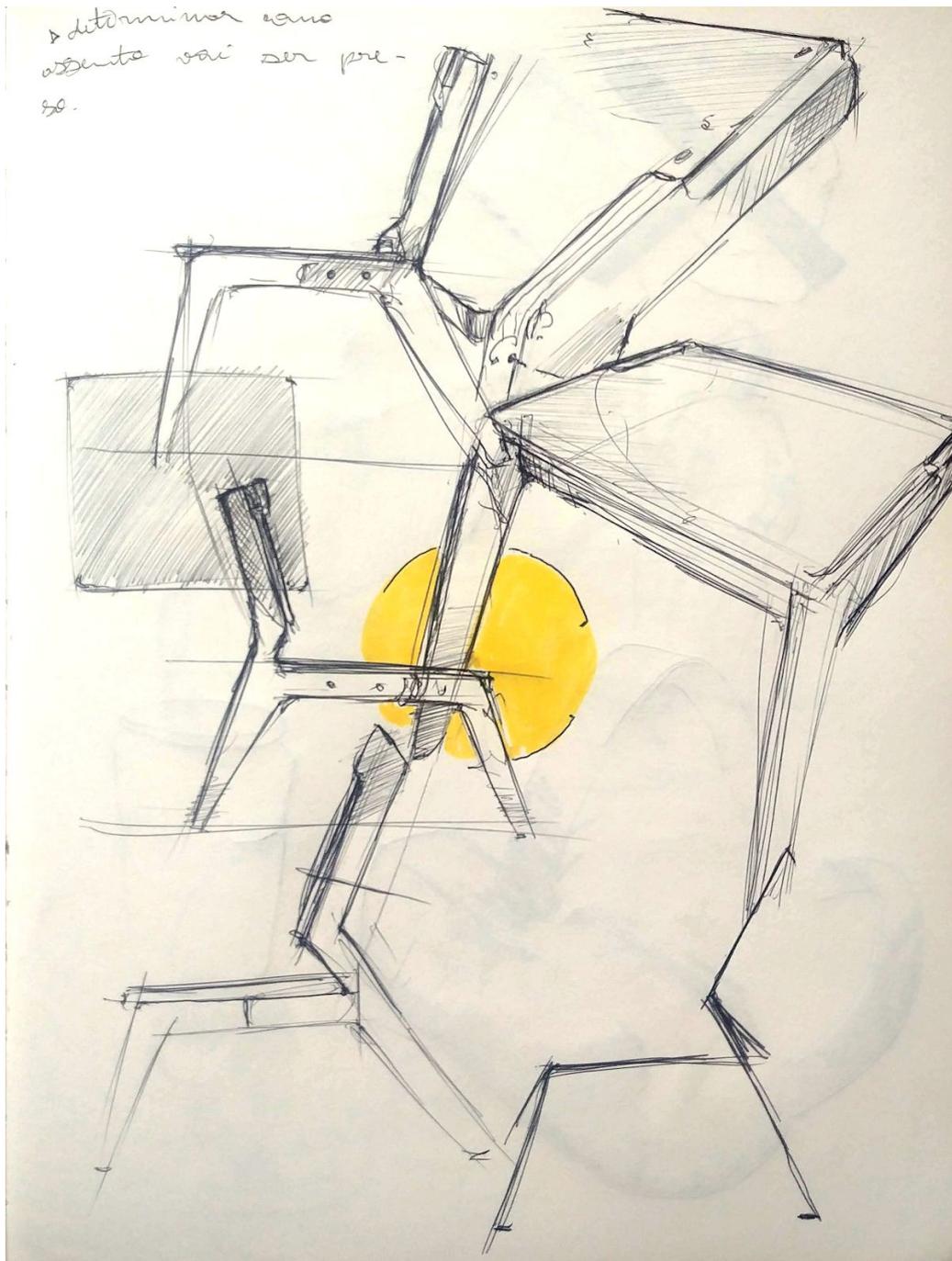


Figura 12 - Rascunhos da cadeira

Fonte: autor

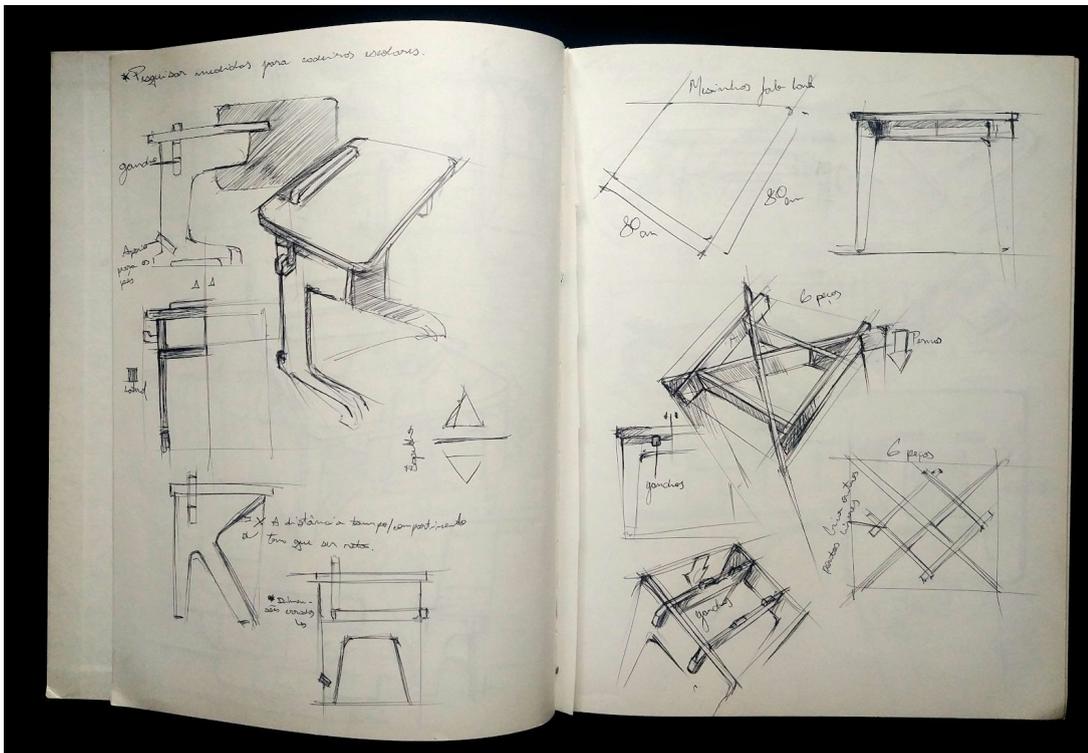


Figura 13 - Rascunhos da mesa

Fonte: autor

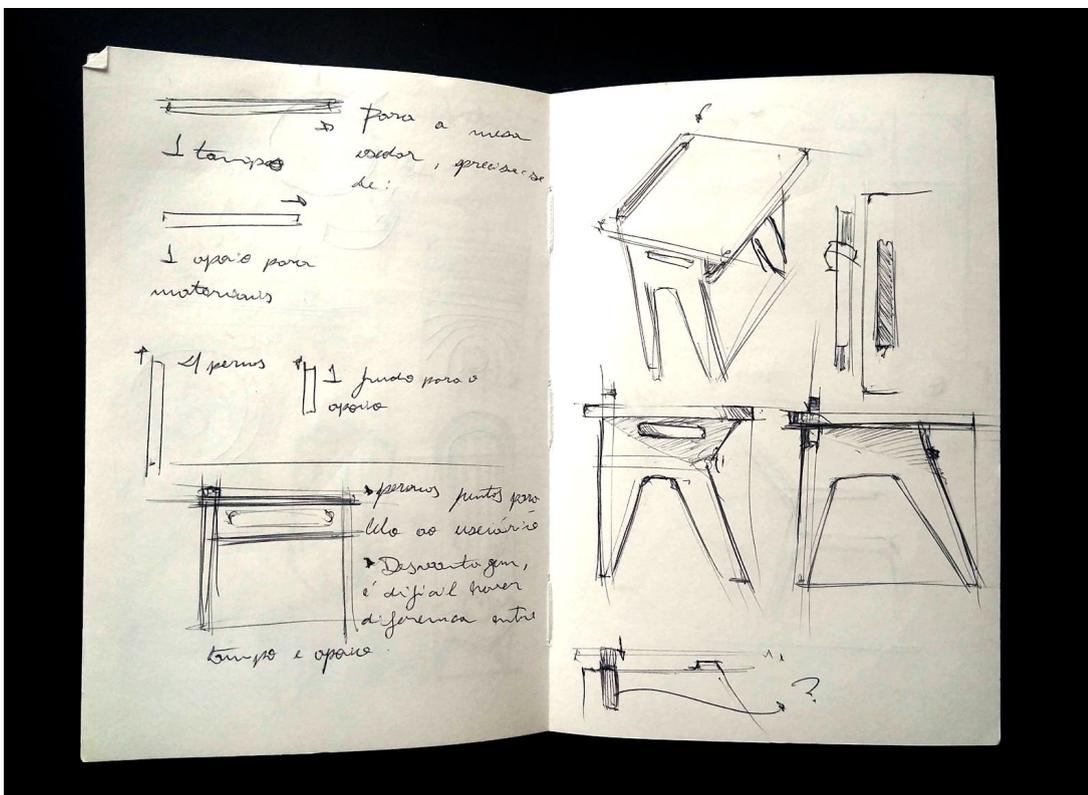


Figura 14 - Rascunhos da mesa

Fonte: autor

Quando a aparência geral, as dimensões e quais juntas seriam usadas estavam decididas a um ponto satisfatório, a modelagem 3d começou a ser feita no programa *Fusion 360*, feito pela *Autodesk*.

No início, cada projeto foi focado em adquirir as dimensões desejadas, antes de serem mais caracterizados. Neste caso, defino “caracterizados” como modelados e planejados no programa 3d a um ponto em que podem ser prototipados em escala 1:1 na chapa de compensado.

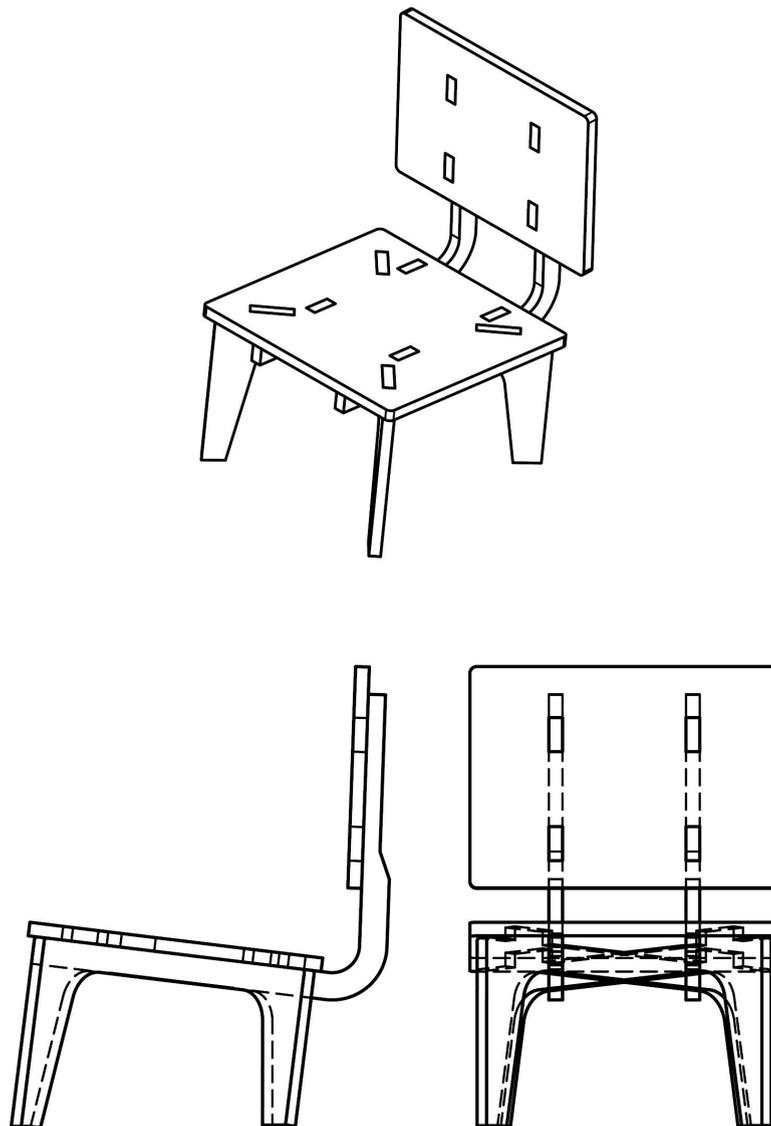


Figura 15 - Primeiros modelos 3d realizados da cadeira

Fonte: autor

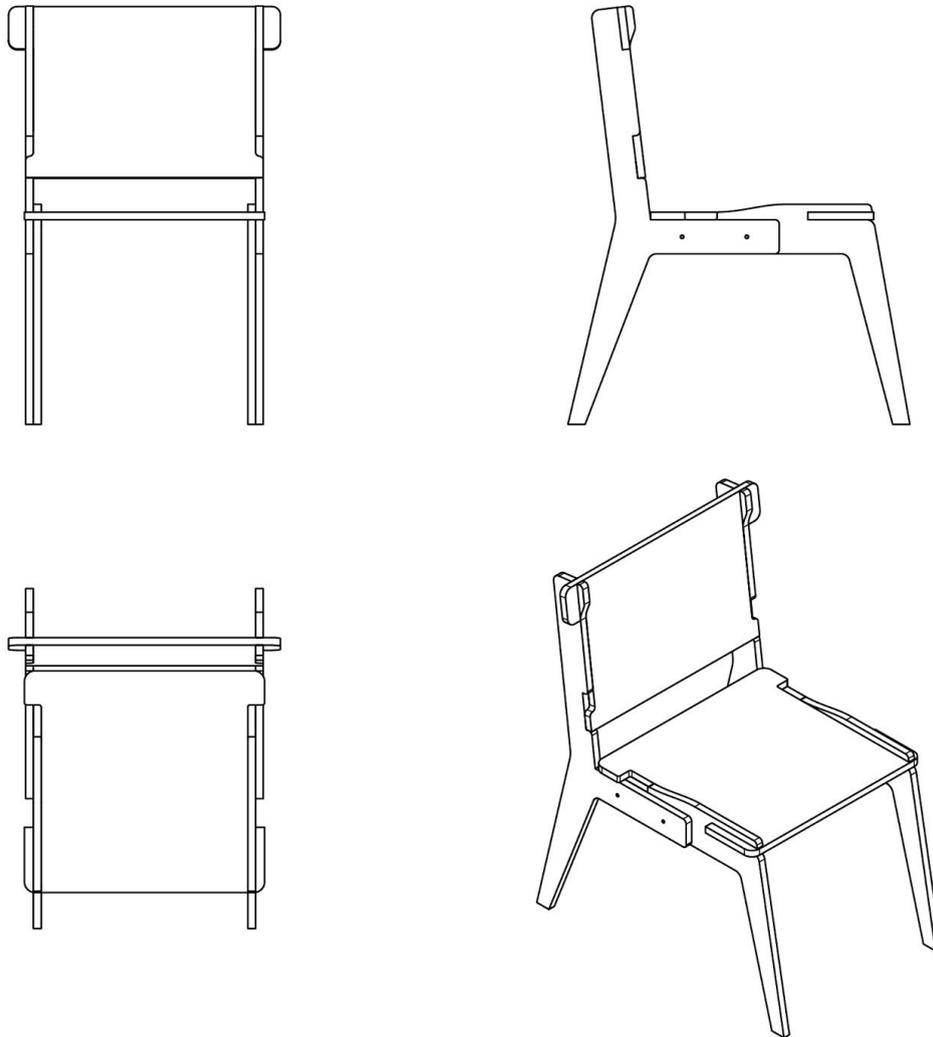


Figura 16 - Desenho isométrico da primeira versão completa da cadeira

Fonte: autor

Devido a minha experiência com mesas fabricadas com roteadoras, a mesa escolar foi o primeiro móvel a ser caracterizado. Feita de três tipos de encaixes, ganchos rasos, inserção e cruzamento.

Depois de cortada, a mesa foi montada sem muitos acabamentos. Composta de seis peças: duas laterais, tampo, tampo de apoio (para depositar materiais escolares), e duas vigas para garantir que a estrutura não fique bamba.

Na montagem houve um tempo de 20 (vinte) a 30 (trinta) minutos que foi gasto do começo ao fim. As vigas foram colocadas em gancho com as duas laterais, os encaixes com tolerância de 0.1 mm foram fortes o bastante, mas a viga baixa entrou errado na lateral esquerda, e foi parcialmente quebrada no encaixe.

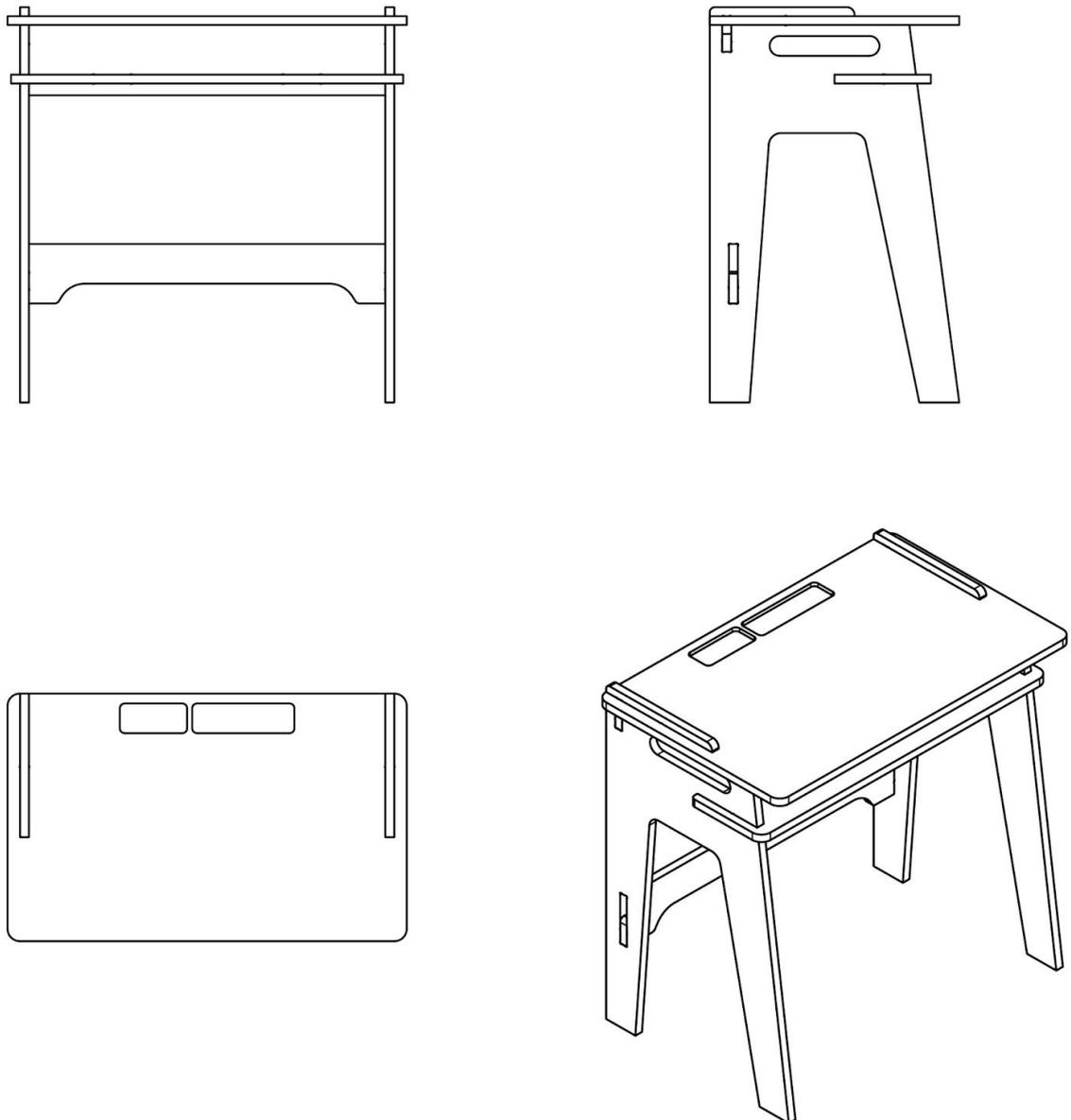


Figura 17 - Desenho isométrico da primeira versão terminada da carteira

Fonte: autor



Figura 18 - Foto da primeira versão montada da mesa

Fonte: autor

O encaixe ainda se situou relativamente bem, mas esteticamente estava errado, então talvez os ganchos rasos possam ser feitos mais grossos, a custo de “orelhas” visíveis nas laterais.

O encaixe do sub-tampo foi feito rapidamente, já que era de inserção/cruzamento e as tolerâncias se provaram boas. O encaixe do tampo não conseguiu passar pela viga alta inicialmente, mas usei um formol para forçar a passagem e o encaixe foi feito em totalidade.

Com a montagem completa a mesa estava praticamente pronta para ser usada, mas apresentava alguns pequenos problemas de dimensões que só conseguiram ser observados com a prototipagem 1:1, estes eram:

- Tampo de apoio estava muito baixo, poderia atrapalhar no espaço de respiro das pernas dos usuários, resolvi elevá-lo cerca de 20mm.

- A mesa, apesar de bastante maciça, estava levemente pesada, um aluno regular do ensino médio teria que se esforçar um pouco mais para mover a mesa comparada a um modelo usual de plástico e metal. Levando isso em conta, resolvi abrir espaços negativos nas pernas laterais para menos material ser usado.

Apesar destes problemas, as soluções foram feitas rapidamente no mesmo dia. Além do mais, a mesa se encontrava em um ponto mais do que aceitável para uso, então sua segunda prototipagem foi definida como a última.

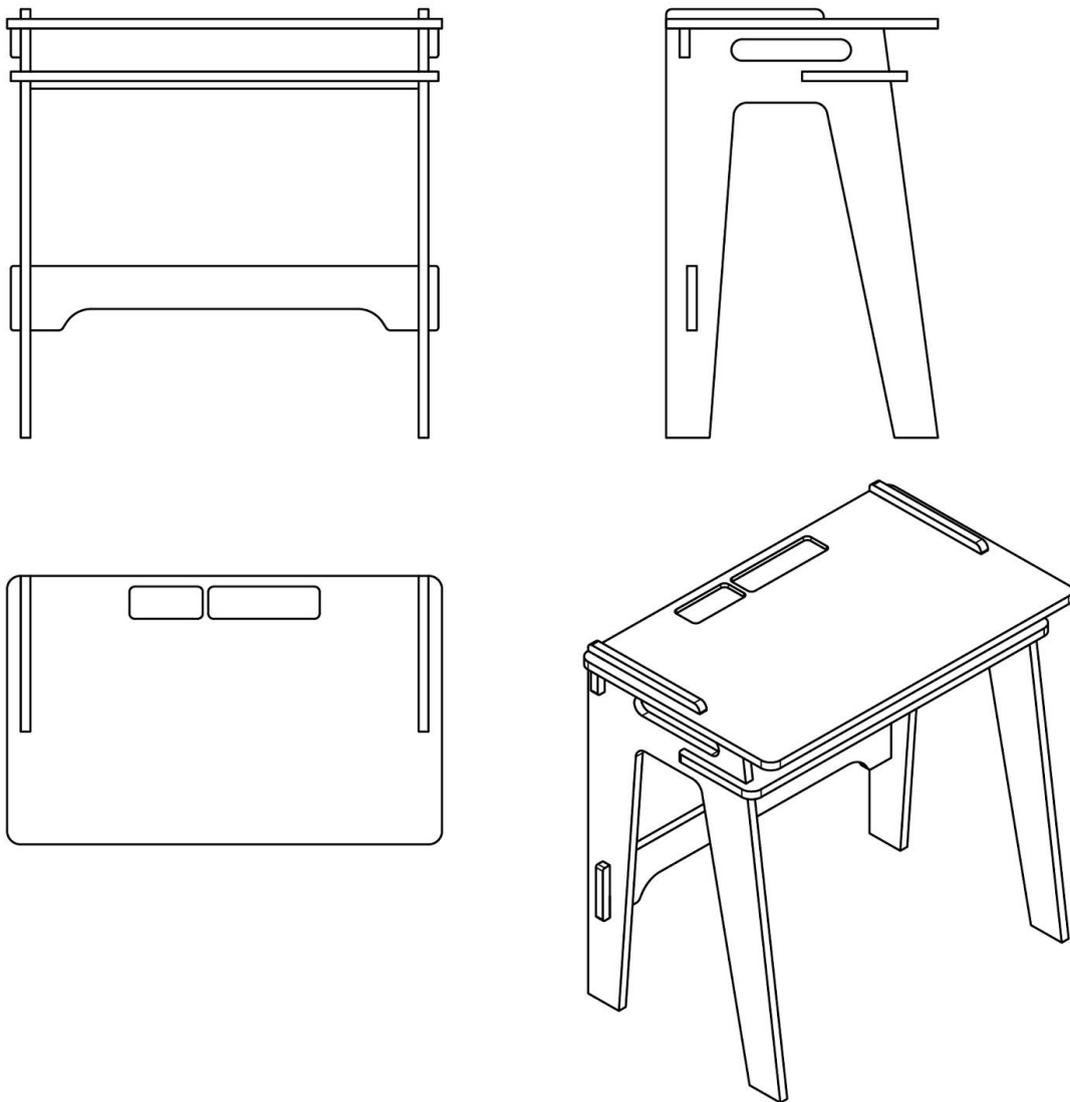


Figura 19 - Desenho isométrico da versão final da mesa

Fonte: autor

O processo de design da cadeira foi similar ao da mesa, suas quatro pernas foram divididas em duas laterais que se juntavam para formar uma estrutura só, juntas pelo assento e apoio das costas.

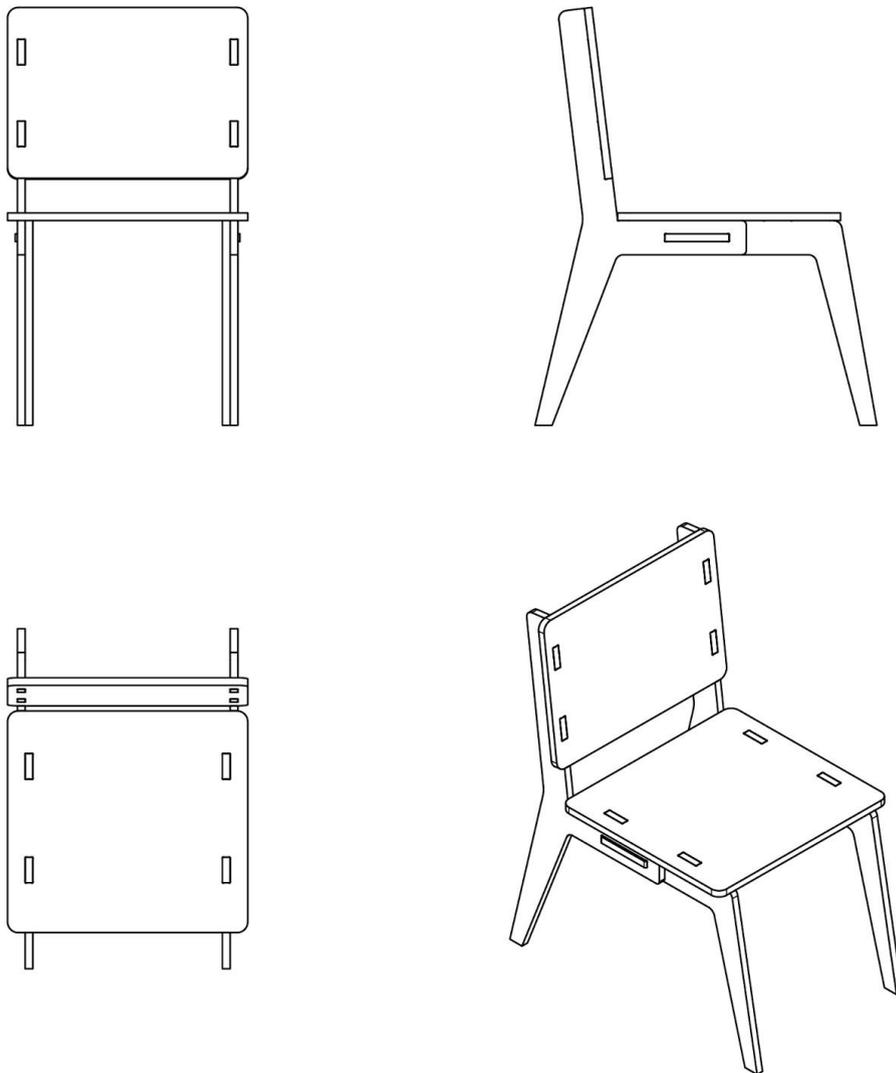


Figura 20 - Desenho isométrico da versão número 4 da cadeira

Fonte: autor

O primeiro desafio que encontrei foi tentar encaixar a duas laterais na chapa de corte, pois tendo duas pernas e metade do apoio das costas em cada lateral, as laterais ocupavam muito espaço que não podia ser aproveitado na chapa. Isto

deixava os cortes pouco eficientes, o que aumentaria o desperdício e o custo de cada corte.

Para remediar isso, resolvi separar as laterais em duas partes: superior e inferior. Estas duas partes iriam ser juntas por um pedaço chanfrado cortado da mesma chapa, e seriam reforçados com o encaixe do assento.

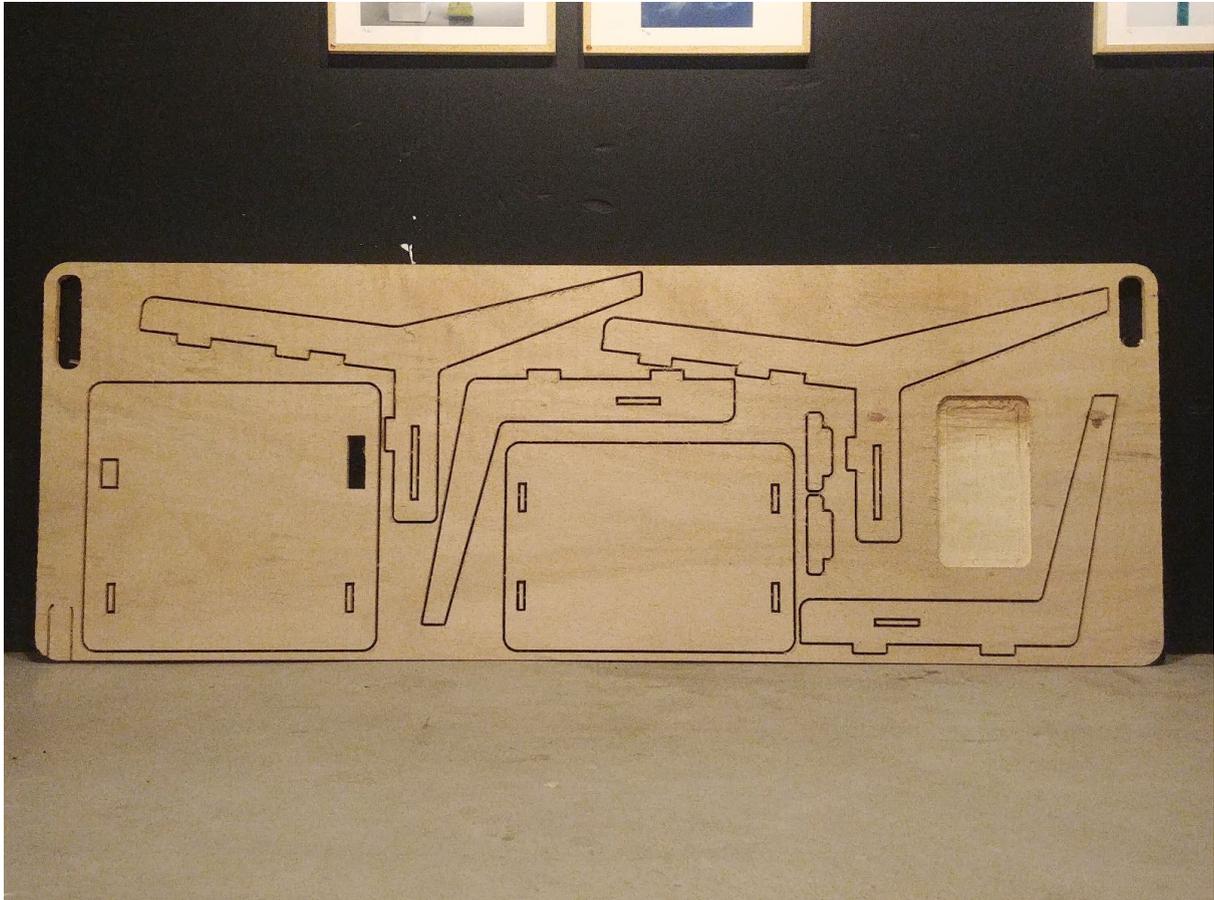


Figura 21 - Primeira chapa usinada

Fonte: autor

Com esta nova configuração, consegui encaixar duas cadeiras em uma só chapa, otimizando o uso da mesma.

Uma vez cortada e montada, a cadeira provou ser o móvel mais difícil dos dois, tendo vários problemas:

- Suas pernas eram muito finas, a cadeira estava extremamente bamba lateralmente, a ponto de ser desconfortável.
- As dimensões estavam todas superestimadas, sua altura estava em conflito com a mesa, lateralmente estava demasiadamente grande, com mais de 100mm a mais do que deveria e seu comprimento não deixava qualquer pessoa com menos de 1,90 metros de altura ocupar o assento inteiro.

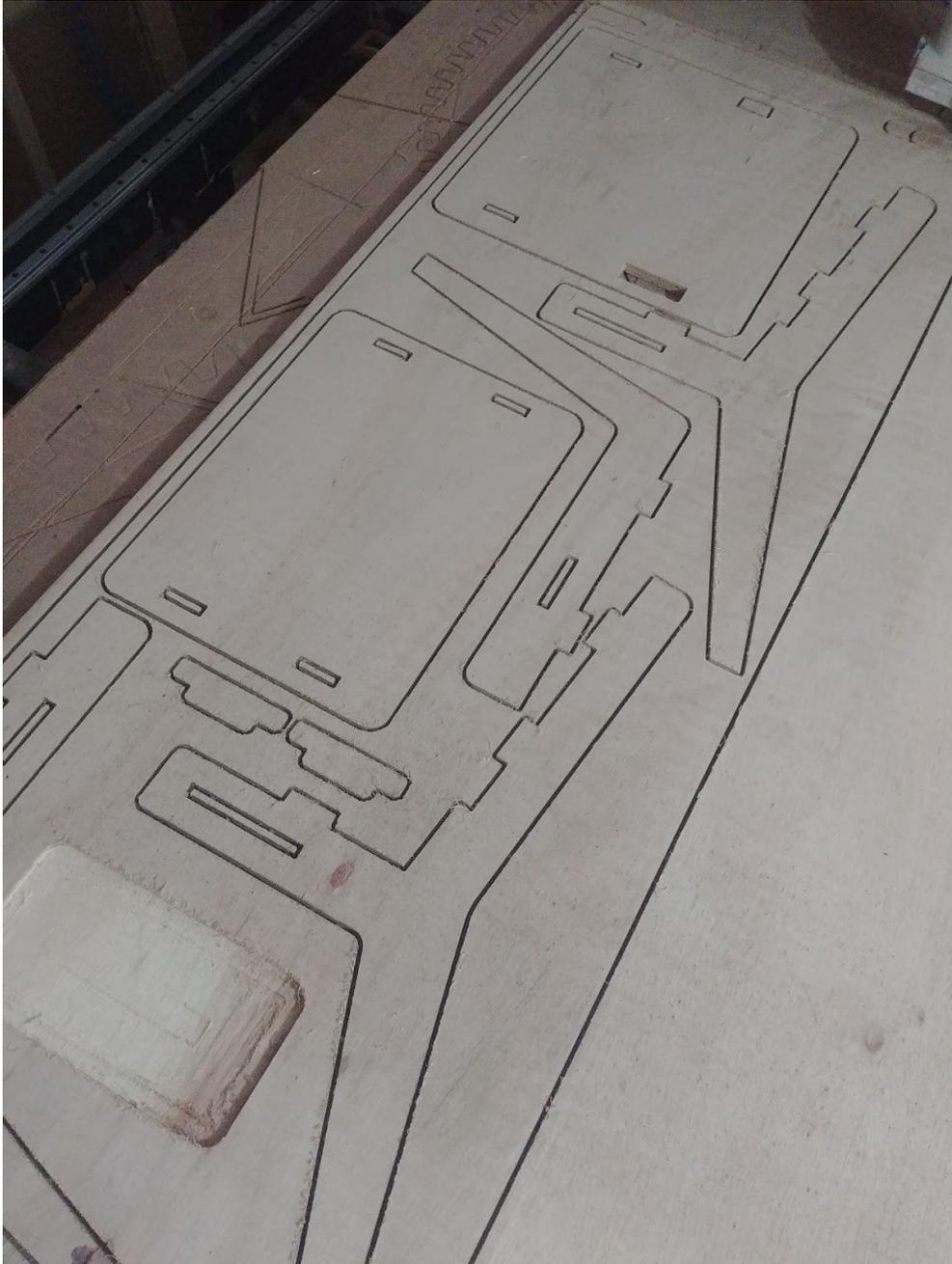


Figura 22 - Primeiro Protótipo da cadeira sendo usinado

Fonte: autor

Nas partes que deram certo, os encaixes das laterais inferiores e superiores estavam bem sólidos, apesar de a longevidade deste encaixe ainda não poder ser testada, e o ângulo entre assento e apoio ( $95^\circ$ ) também estava confortável o bastante.

Para solucionar os problemas de dimensão, usei várias outras cadeiras, inclusive escolares, como referência e com isto a dimensão lateral foi de 560mm para 440mm-394.30 mm, a profundidade do assento de 520mm para 440mm-425mm e a altura de 480mm para 458mm.

As pernas dianteiras, que eram antes abertas foram mudadas para ficarem a  $90^\circ$  do assento. Para melhorar a falta de estrutura nas pernas, vigas baixas semelhantes à viga da mesa foram incluídas, foram três no total, duas encaixadas nas partes mais baixas, próximas ao solo das pernas, e uma no centro, debaixo do assento.

Para se economizar madeira, em vez de fazer diversos encaixes de inserção como antes, resolvi usar encaixes laterais simples e parafusos para situar o assento e o apoio das costas. Isso permite que estas duas peças sejam menores mas ainda bem presas à estrutura.

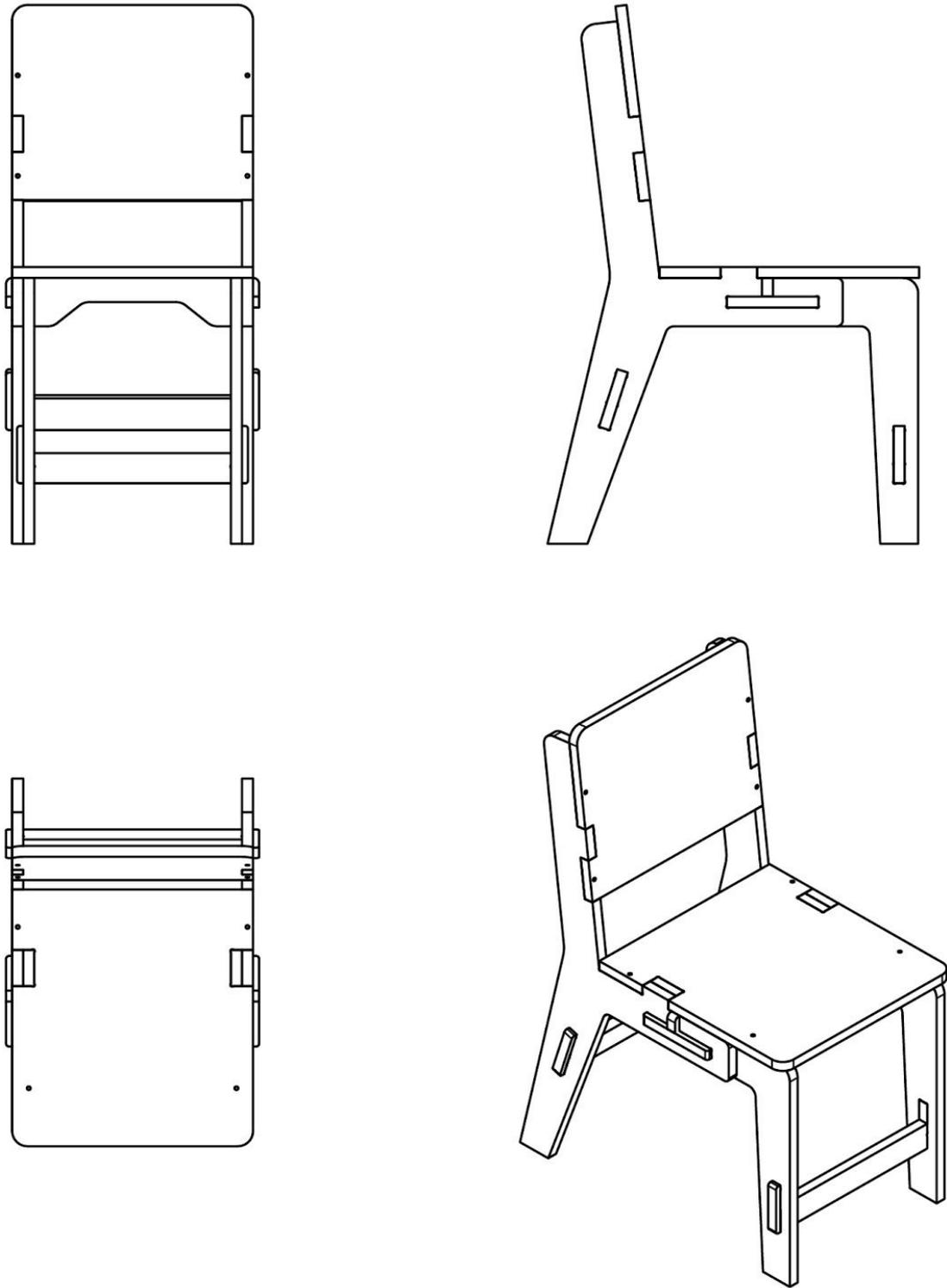


Figura 23 - Desenhos isométricos da versão final da cadeira  
Fonte: autor

### 3.5 Versões Finais

Nesta seção se encontram fotos e renderizações dos modelos finais, desenhos técnicos com todas as medidas relevantes e comparações de escala entre versões se encontram na seção anexos.



Figura 24 - Renderização do modelo final da cadeira escolar

Fonte: autor



Figura 25 - Renderização do modelo final da mesa escolar

Fonte: autor



Figura 26 - Renderização do conjunto final

Fonte: autor

### 3.6 Encaixes utilizados

Foram quatro encaixes no total usados no projeto, estes são apenas alguns de diversas opções e soluções possíveis para se montar um móvel a base de CNC.

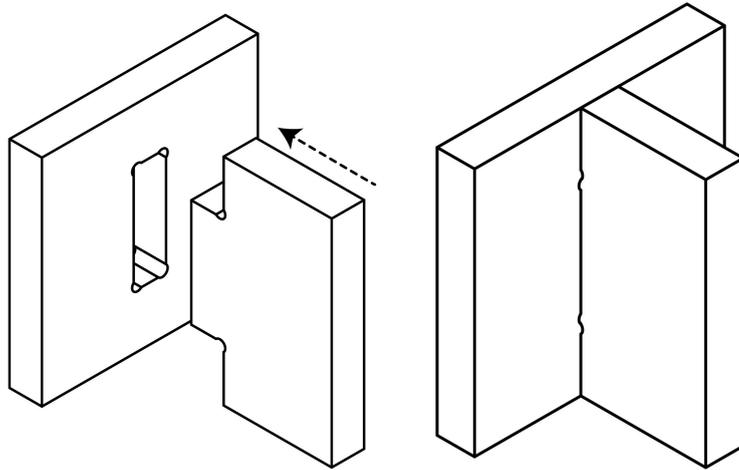


Figura 27 - Esquemática do encaixe de inserção

Fonte: autor

O encaixe de inserção é o mais simples, pois exige poucos ajustes. A qualidade da junta depende da tolerância do encaixe em relação à espessura da madeira, se tiver pouco espaço será difícil de encaixar, se for muito o encaixe poderá ficar solto demais e colas terão que ser usadas.

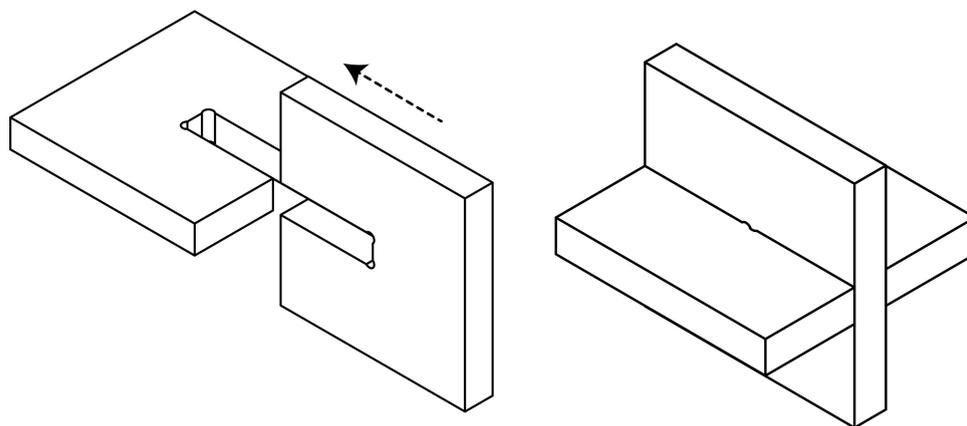


Figura 28 - Esquemática do encaixe de cruzamento

Fonte: autor

Cruzamentos juntam dois cortes perpendiculares. Se suas tolerâncias forem bem ajustadas é um dos encaixes mais duradouros, tanto que se o objetivo é fazer o móvel ser fácil de ser desmontado é recomendado dar um espaço maior para essas juntas.

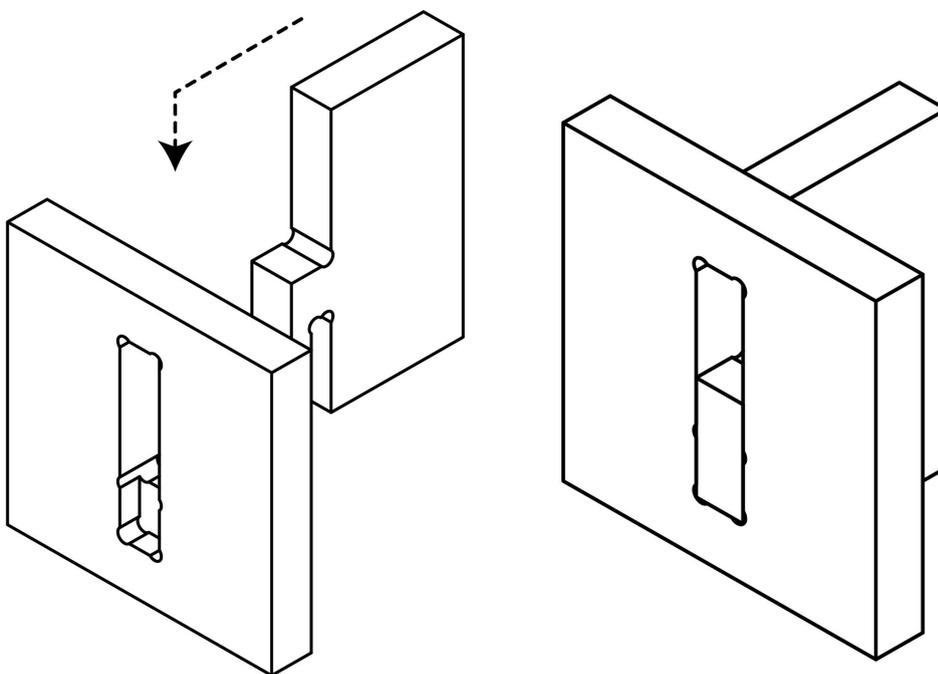


Figura 29 - Esquemática do encaixe em gancho

Fonte: autor

Ganchos permitem uma junta a ter resistência paralela ao ângulo de encaixe. São mais complexos pois precisam ter dois níveis de corte e mais espaço no encaixe fêmea para serem possíveis. Ganchos rasos possuem o mínimo de tamanho para poderem se encaixar na placa sem resquícios. Este tipo de junta sempre deixa um vão quando encaixado em placas únicas, encaixar outras peças em cima para esconder ou complementar a junta é uma tática para se livrar ou disfarçar o vão.

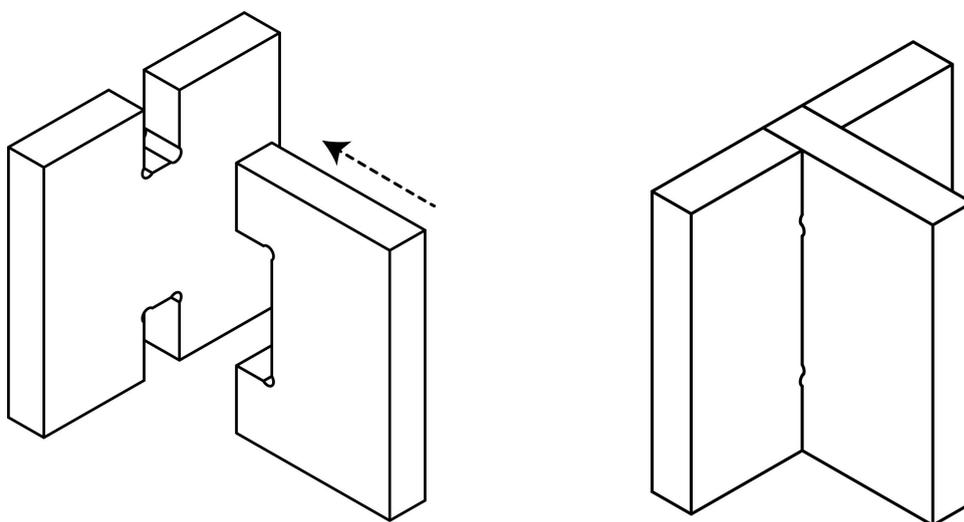


Figura 30 - Esquemática do encaixe de inserção lateral

Fonte: autor

Inserção lateral é uma inserção com menos resistência, não é recomendada para juntas importantes mas é perfeita para garantir que outros encaixes da peça estejam alinhados.

### 3.7 Método de corte e tempo de corte/acabamento

Para acabamento, escolhi usar duas camadas de seladora. Testei em peças usar ceras e verniz em spray.

No caso do verniz em spray o acabamento era feito rapidamente, mas o preço era caro, pois a cada móvel se espera usar pelo menos uma lata de spray e meia, sendo que cada lata custa em média R\$ 35,00. Além disso o lixo produzido por uma produção maior com este método seria bem mais do que aceitável para o projeto.

Ceras são versáteis e são um dos métodos recomendados para um acabamento mais seguro feito pelos alunos, mas normalmente demoram cerca de 48 horas para secarem, o que atrapalha a natureza da prototipagem pois aumenta ainda mais o tempo de retorno.

Todos os móveis produzidos demoraram uma média aproximada de 30 minutos de usinagem. O acabamento escolhido foi seladora diluída em thinner, primeiro a madeira era lixada em lixas de 120, 220 e 320, logo após era passada a primeira camada de seladora diluída em 30% de thinner. Depois da secagem era lixada por lixas 120 e uma camada de 80% de thinner é aplicada. Se desejável, a madeira era lixada em 220 e depois uma última camada de thinner 80% é de novo aplicada para finalmente ser lixada com lixas 320. Muitas vezes a última camada pode ser pulada para ser lixada direto em 320, o número de vezes que a seladora tem que ser aplicada depende da qualidade da madeira.

Para o acabamento de seladora em cadeiras o tempo total (tempos de espera e pausa para troca de equipamento não foram contados) dura cerca de 3 horas, ou seja, para cadeira uma só pessoa treinada consegue usinar e acabar as peças em 4 horas, rendendo um aproveitamento de no máximo duas cadeiras por dia.

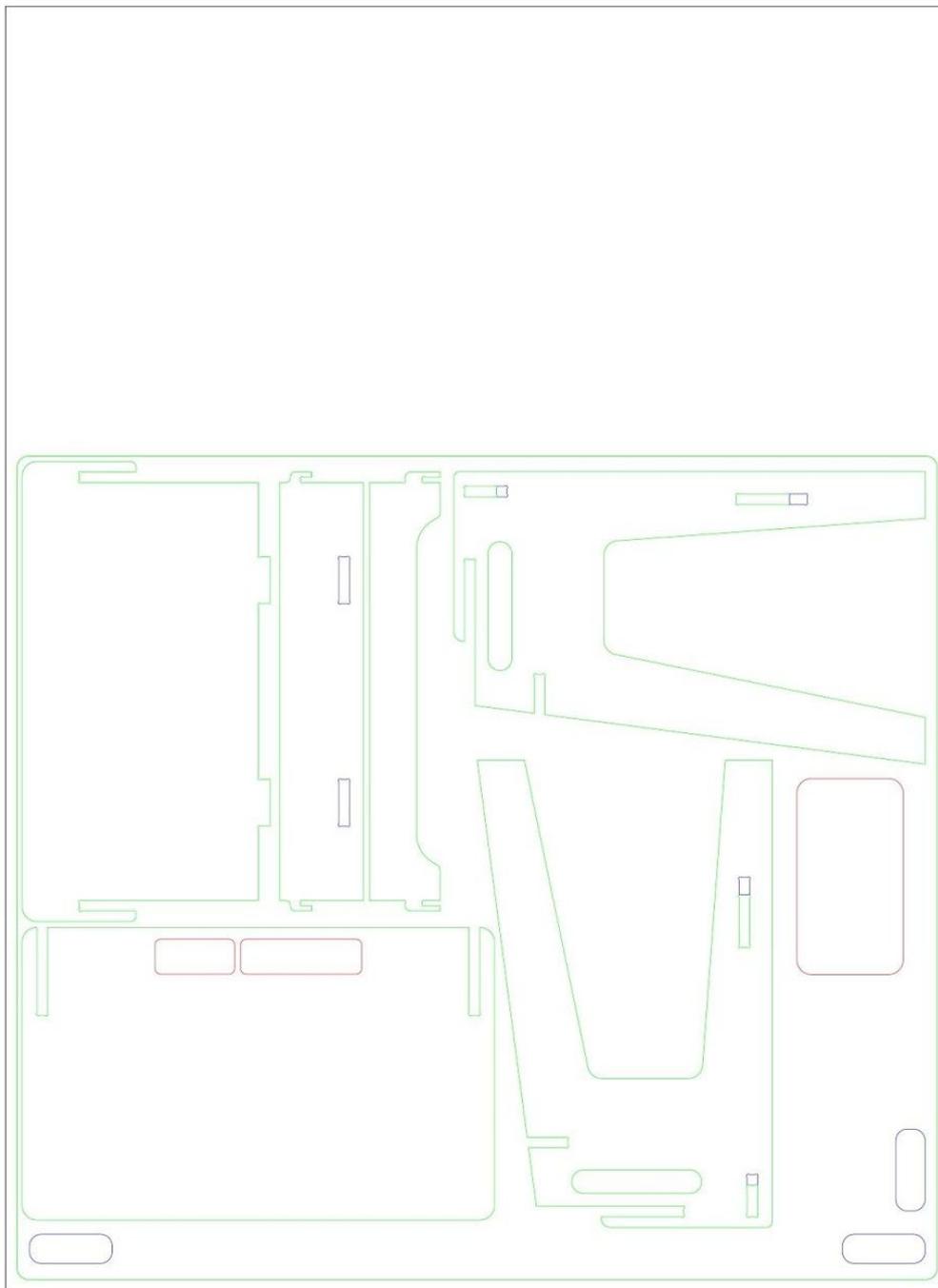
O tempo de acabamento em durava uma hora a mais, já que as peças são maiores, o que aumenta o tempo de fabricação para 5 horas estimadas para cada móvel.

### **3.8 Placas para transporte e distribuição**

Para facilitar possíveis transportes e melhorar o aproveitamento das chapas de 18mm, cada móvel pode ser usinado junto com uma chapa de apoio. Cada chapa possui espaços para serem depositadas folhas de lixas que facilitam o acabamento e espaços para serem usados como alças em transporte.

A proposta de placas de transporte também facilita a possível distribuição de chapa usinadas para outras escolas vizinhas que não possuem o espaço de fabricação, o que cria uma rede centralizada ao redor do espaço que pode ser usado por alunos de outras escolas além da sede.

Cada placa permite que as peças continuem atreladas a chapa original através de pontes, pedaços não usinados que são mantidos durante o corte para maior estabilidade e precisão das usinagem das peças. Neste caso mais pontes são colocadas para garantir que as peças fiquem presas durante o transporte. Na hora da montagem os pedaços que restam das pontes são lixados para o móvel ter uma superfície lisa e confortável.



**Placas Mesa Final  
(v03)**

18mm  
Fresa 6mm  
Placa 2200 x 1600 mm

Capacidade: 1 mesa

**Guia:**

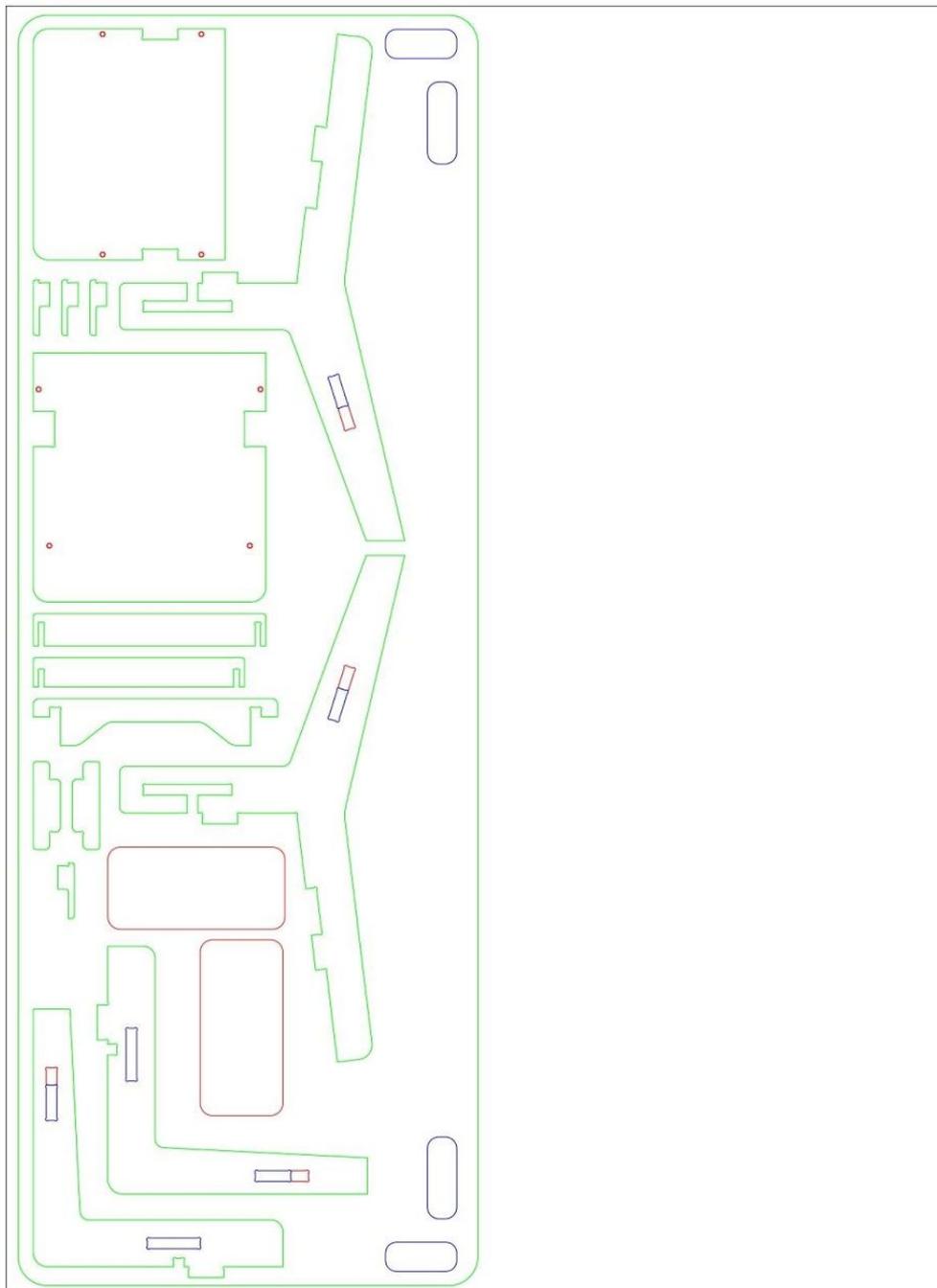
**Verde:** Profile Ext 18mm

**Azul:** Profile Int 18mm

**Vermelho:** Pocket 9mm

Figura 31 - Vetor da placa final da mesa estudantil

Fonte: autor



**Placas Cadeira Final  
(v05)**

18mm  
Fresa 6mm  
Placa 2200 x 1600 mm

Capacidade: 2 cadeiras

**Guia:**

**Verde:** Profile Ext 18mm

**Azul:** Profile Int 18mm

**Vermelho:** Pocket 9mm

Figura 32 - Vetor da placa final da cadeira estudantil

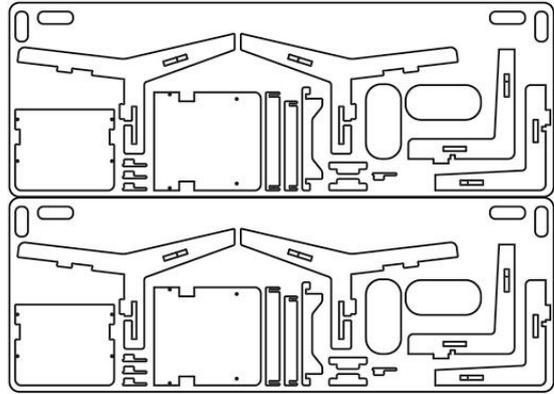
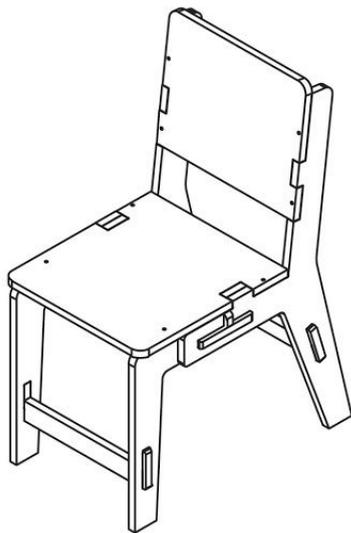
Fonte: autor

### **3.9 Manual de montagem**

Para ajudar a montagem dos móveis, desenhei um pequeno manual de montagem que cabe em uma folha A4 dobrada duas vezes, cada móvel possui o seu próprio manual. Aqui estão as últimas versões.

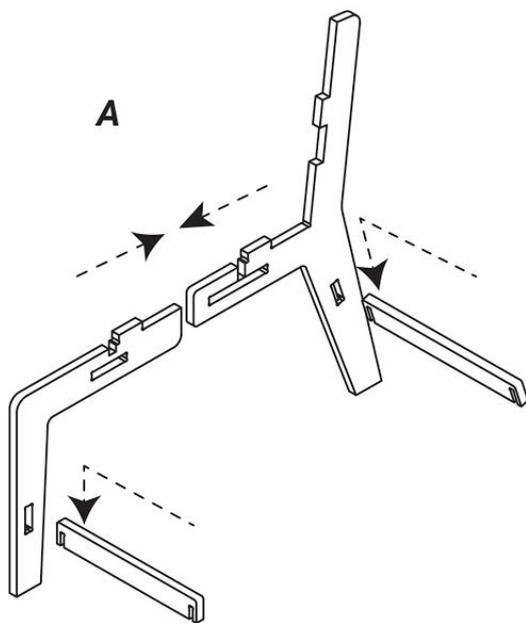
# Manual de Montagem

Cadeira Escolar v1

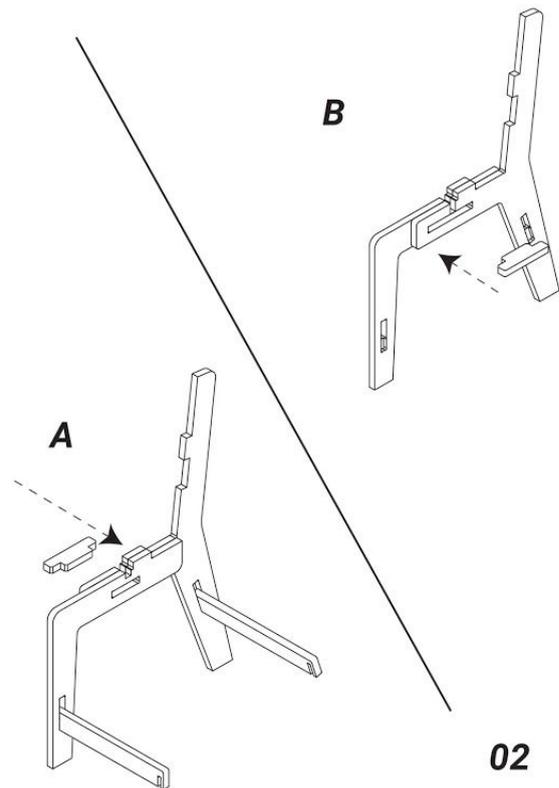


Design por Heitor Lôbo Campos

Feito para a Roteadora CNC



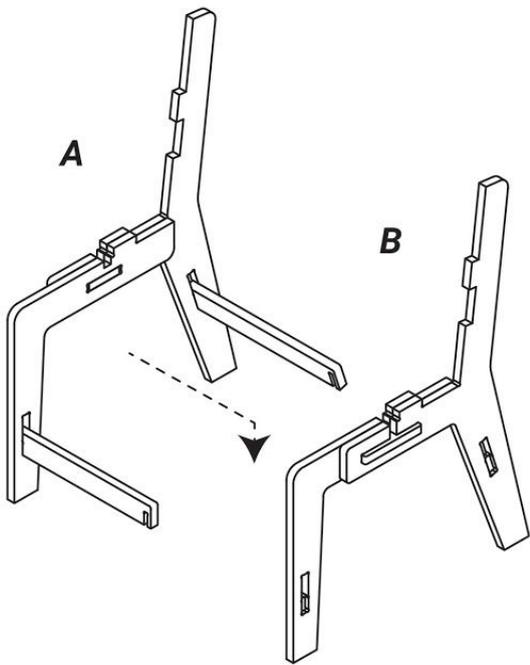
01



02

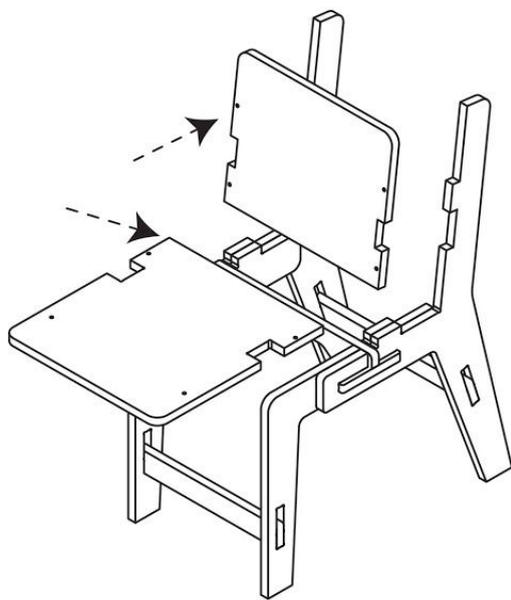
Figura 33 - Primeira página do manual de montagem da cadeira

Fonte: autor

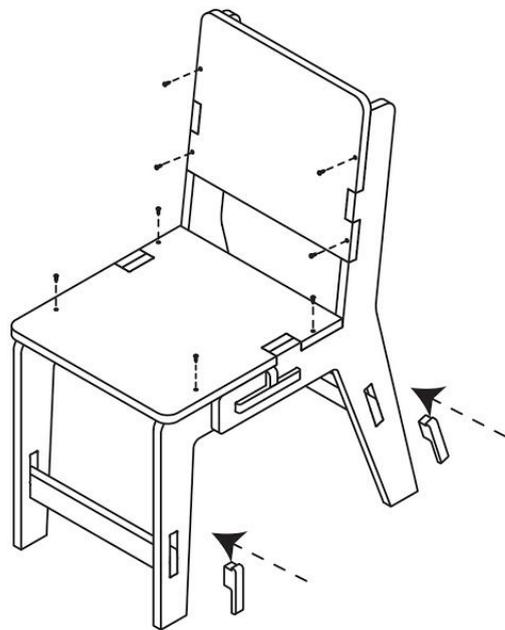


03

04



05

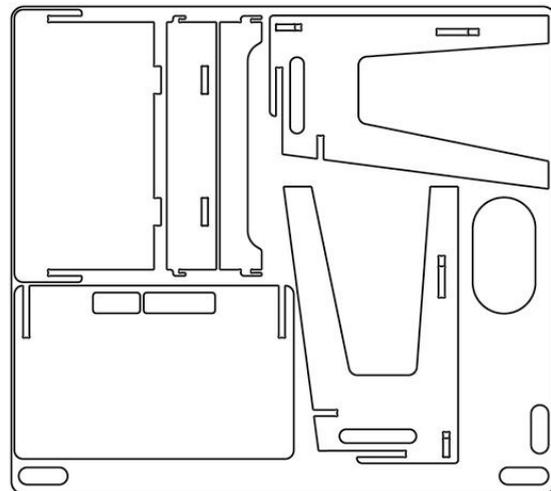
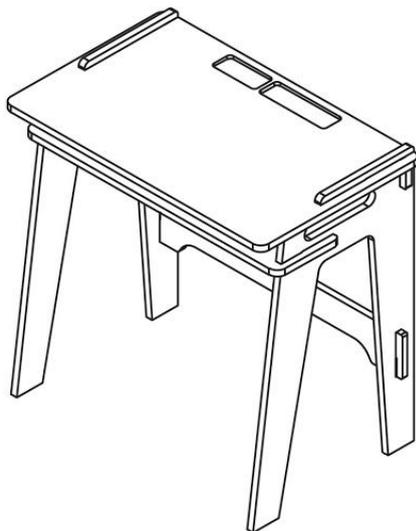


06

Figura 34 - Verso do manual de montagem da cadeira  
Fonte: autor

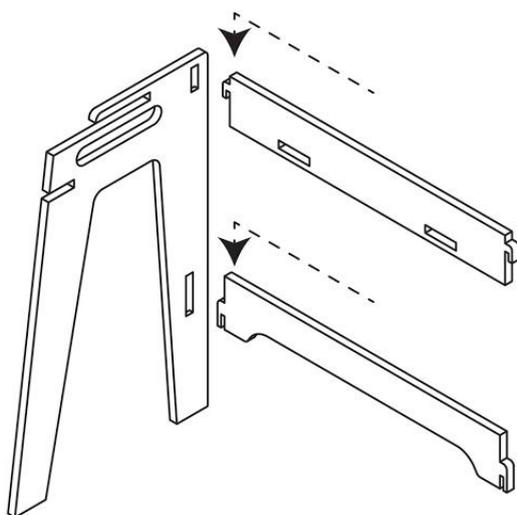
# Manual de Montagem

Carteira Escolar v1

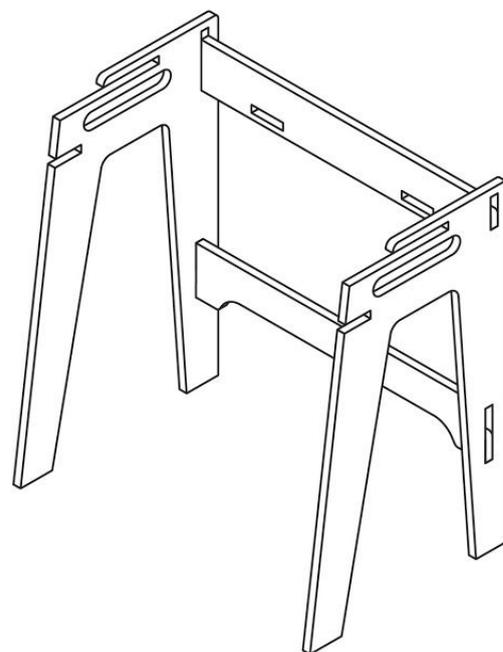


Design por Heitor Lôbo Campos

Feito para a Roteadora CNC



**01**



**02**

Figura 35 - Primeira página do manual de montagem da mesa

Fonte: autor

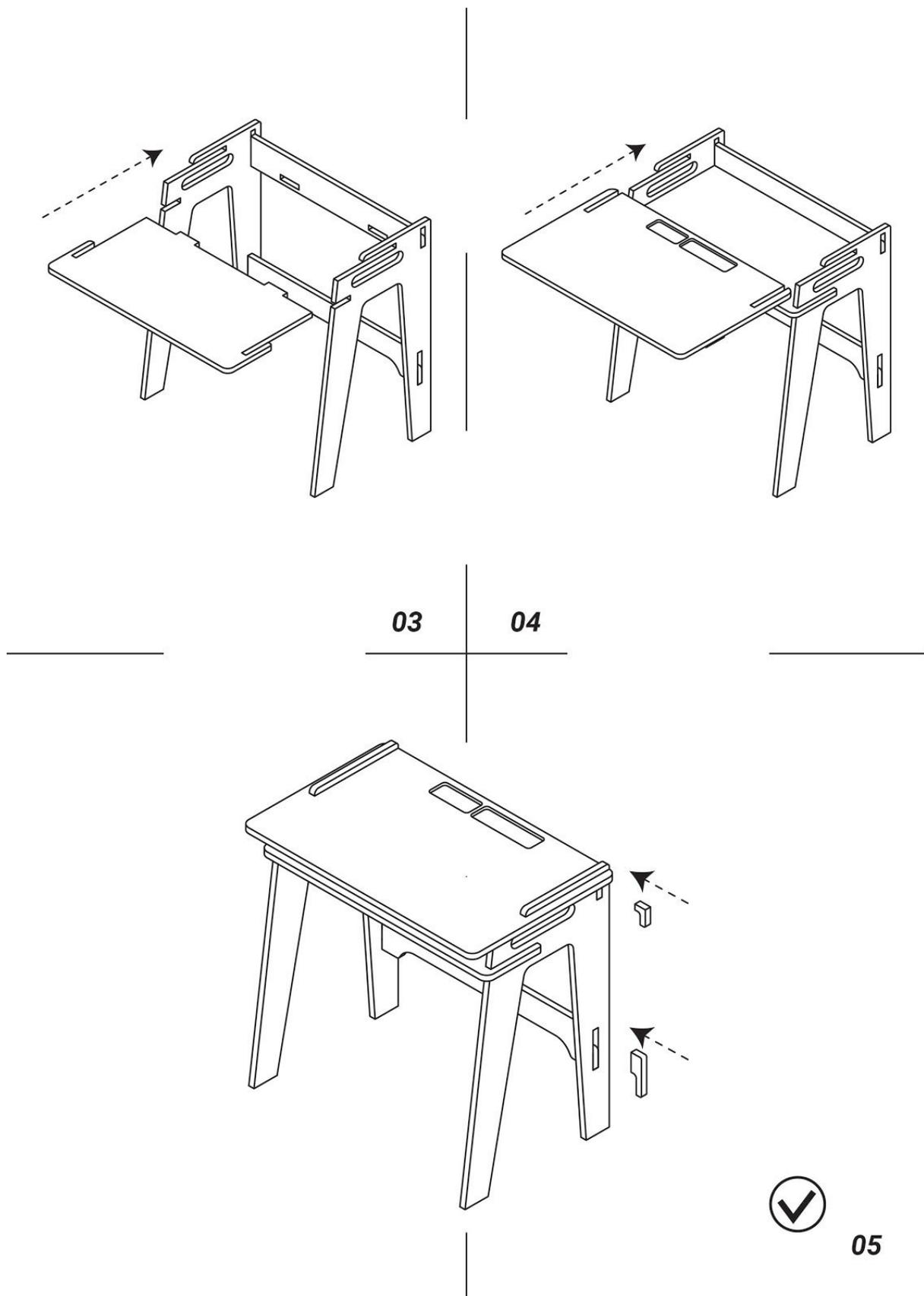


Figura 36 - Verso do manual de montagem da mesa  
Fonte: autor

#### **4. CONCLUSÃO**

Ao fim deste relatório, posso concluir que os objetivos deste projeto foram cumpridos. A proposta inicial era explorar a fabricação digital como um meio de criar móveis para ambientes escolares, e pesquisar meios de integrar o espaço da roteadora CNC às escolas.

Criar dois móveis passíveis de serem usados na sala de aula foi a parte de mais importância do trabalho, já que este projeto me possibilitou aprofundar o meu conhecimento de como um espaço de fabricação com uma CNC funciona, quais suas vantagens e limitações, seus processos possíveis e as exigências que um espaço de fabricação digital pede para funcionar sem maiores obstáculos.

O projeto possui limitações de tempo e orçamento, um teste de como um laboratório de fabricação digital se encaixaria na escola, junto com todos os seus custos de investimento e manutenção seria ideal para consolidar a ideia original. Testes mais extensos de ergonomia e facilidade de montagem, especialmente com usuários na faixa dos 14 aos 18 anos também serão bem-vindos caso o projeto se estenda.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGMILLER, K. H.; SOUZA, P. L. P. S.; BRASÍLIA, M. B. A. B. **Ensino fundamental: mobiliário escolar**. Fundescola - MEC, 1999

**School Desks: Posture and School Work**, INCYDES, ano desconhecido.

AMUI, Bruno. **Guia: Entendendo a Fresadora CNC**. Disponível em:

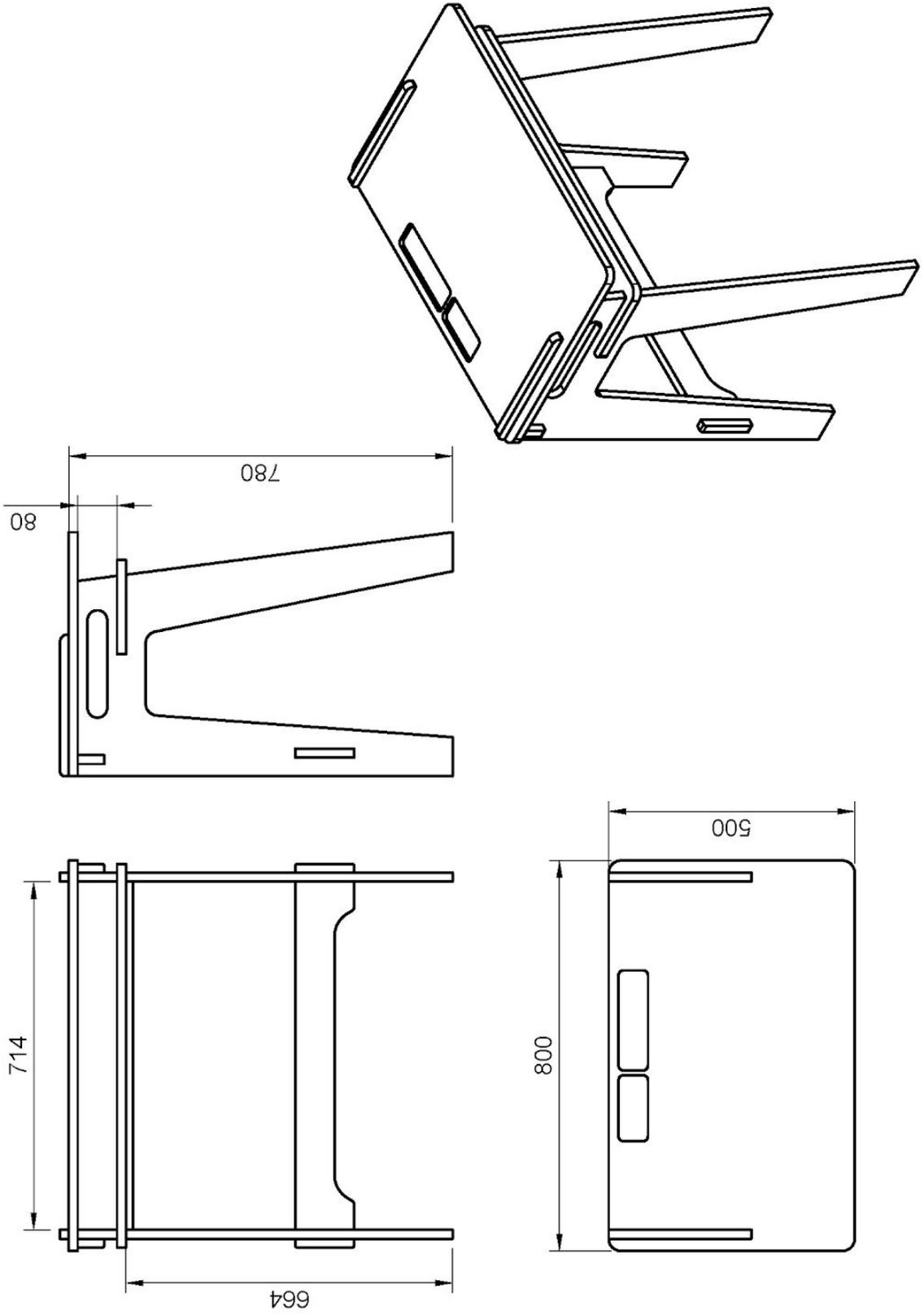
<<https://www.brasiliafablab.com.br/guia-entendendo-a-fresadora-cnc>>. Acessado em 15 de Setembro de 2018.

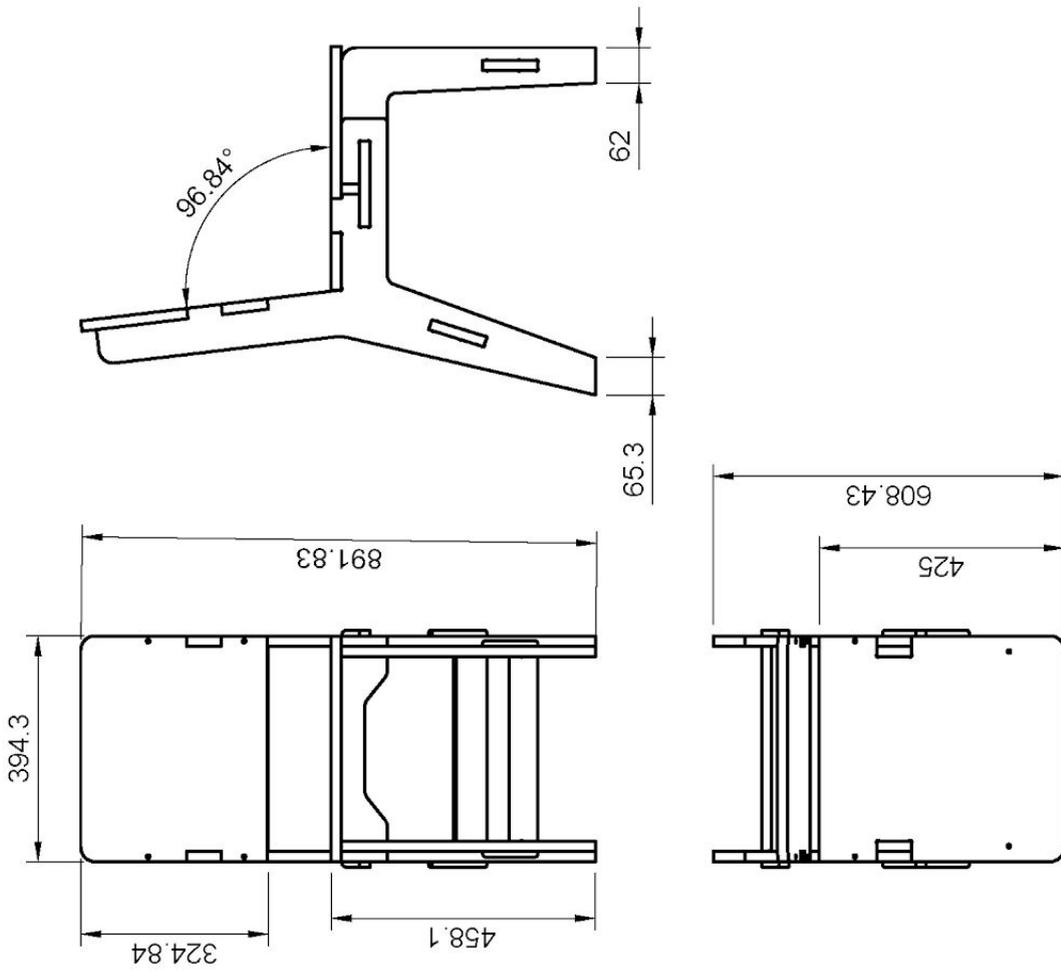
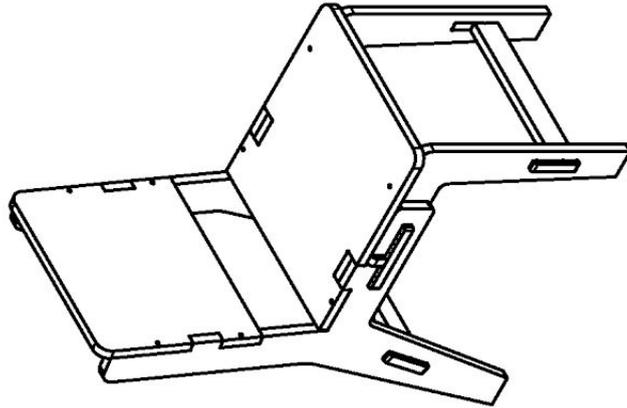
PIERRE, Danielle. **The Future Of Classroom Design**. Humber College, ano desconhecido.

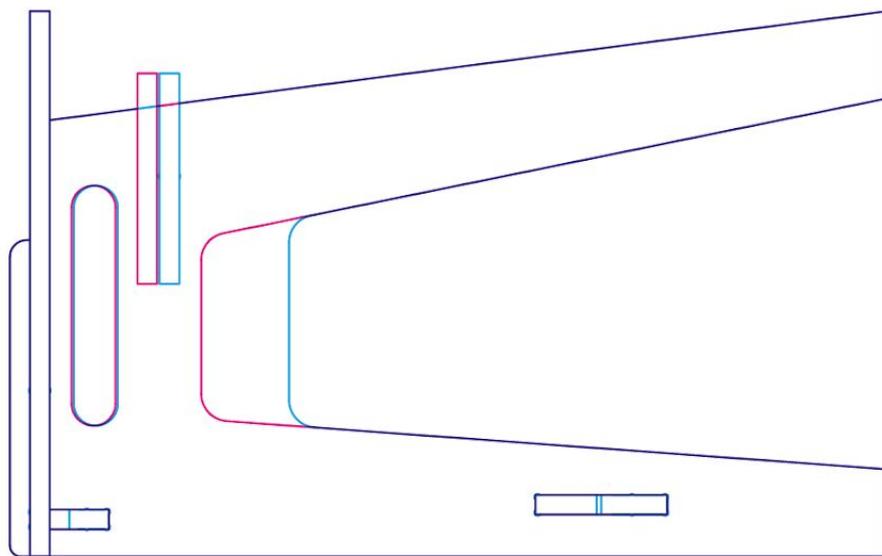
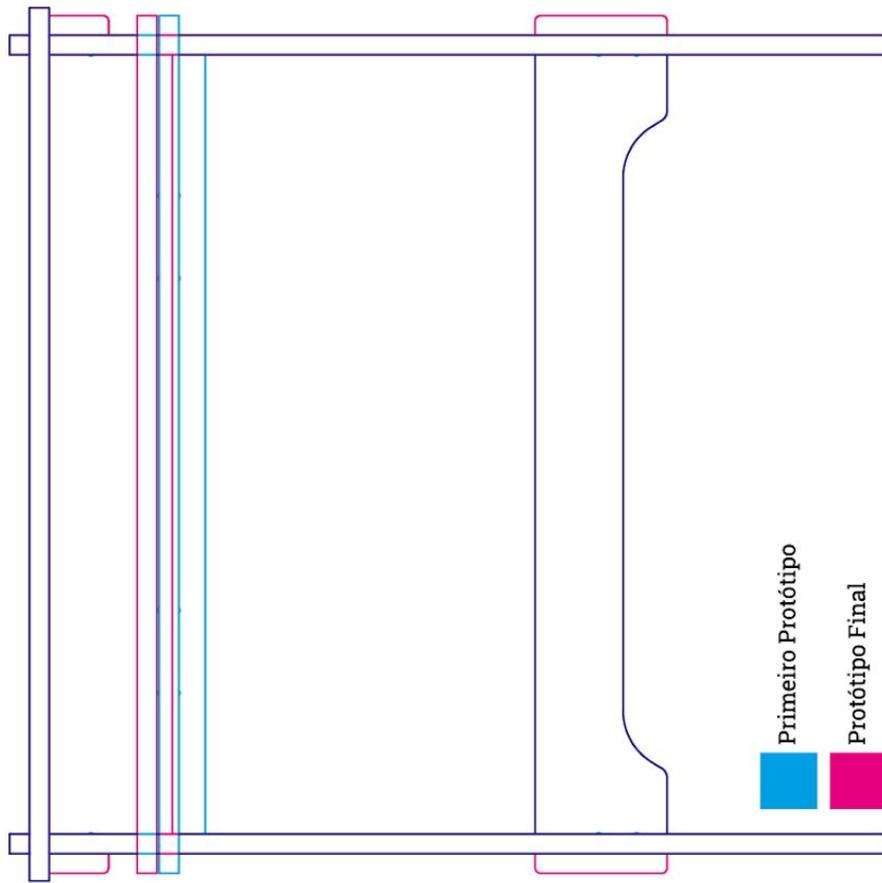
LANGE, Alexandra. **The Future of School Design**. Disponível em:

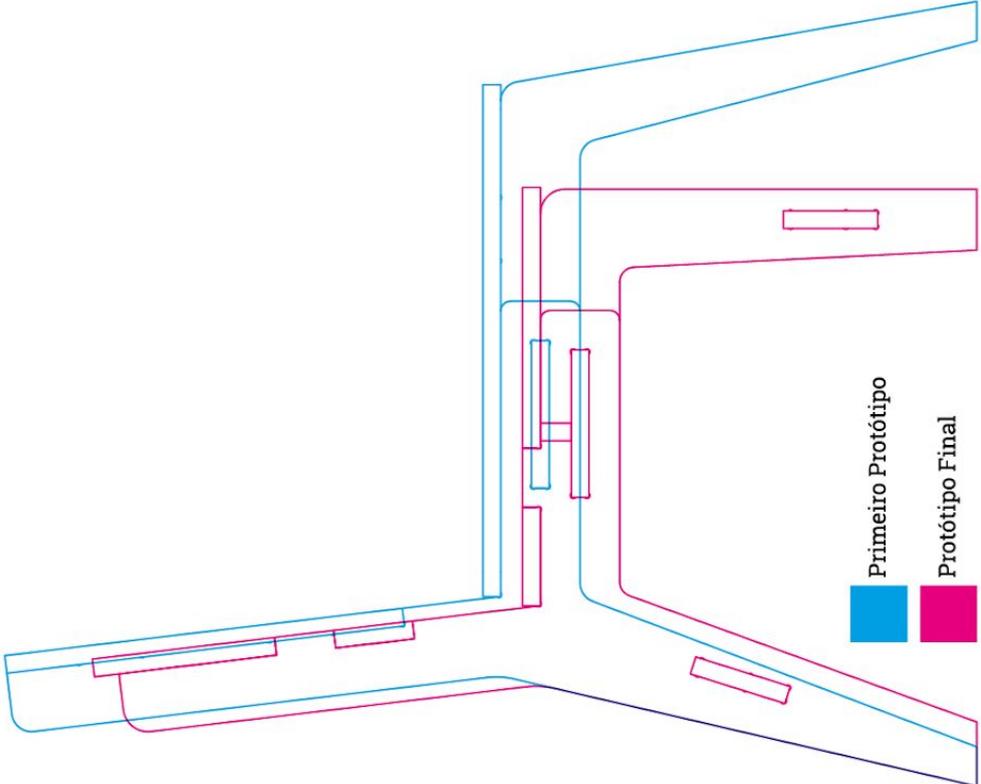
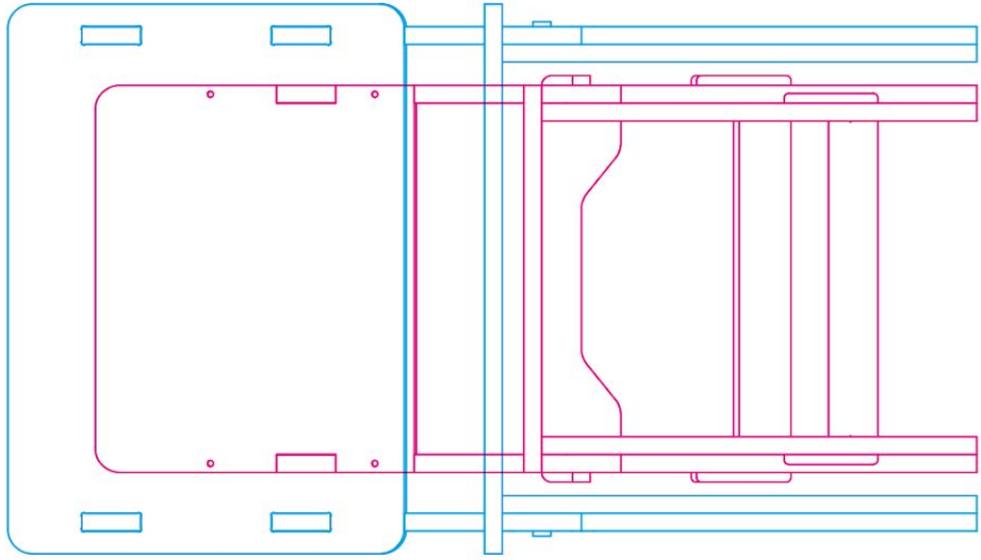
<[https://www.architectmagazine.com/design/the-future-of-school-design\\_o](https://www.architectmagazine.com/design/the-future-of-school-design_o)>. Acessado em 1 de Dezembro de 2018.

## 6. ANEXOS









Primeiro Protótipo  
Protótipo Final