

## Fabricação digital e variedade fora do contexto industrial

➤ Marcus Vinicius Bernardo  
UFMG, Brasil  
mv.augustus@gmail.com

➤ José dos Santos Cabral  
UFMG, Brasil  
cabralfilho@gmail.com

---

### Abstract

This paper discusses issues raised during an experiment about the use of digital fabrication technologies in non-industrial contexts in three concurrent fronts: The first front was to get familiarized with the production ecology of a non-industrial building context, the favela. The second front was to verify the accessibility of digital fabrication technologies outside the industry by building a low cost CNC milling machine based on DIY instructions available in the internet. And the last front was to develop useful solutions with this technology to that context. Partial results are guidelines for improving the technology in order to fit the context.

**Keywords:** Fabricação digital; Reuso; Autoconstrução; Prototipagem; Diversidade.

---

### Introdução

Esta pesquisa investiga as possibilidades do uso da fabricação digital em arquiteturas produzidas através de sistemas de produção que não o da indústria da construção. A premissa inicial é de que o desenvolvimento da arquitetura produzida em massa, no Brasil desenvolvida predominantemente com base na manufatura capitalista, tende a ter uma geração de variedade muito limitada, com soluções padronizadas e repetidas. Isto se deve principalmente ao fato do trabalho na manufatura ser dividido em uma pequena parte decisória centralizada e uma grande parte que somente reproduz estas decisões. Assim, a baixa variedade resulta tanto da incapacidade dessa parte decisória muito pequena gerar informações novas para a reprodução, quanto da dificuldade desta grande parte reprodutiva em se adaptar às inovações geradas pela parte decisória, já que a adaptação em si também demanda um processo de decisão. Em suma, a baixa variedade se mostra resultado de uma mútua limitação entre a parte decisória e a reprodutiva, que por sua vez é fruto da concentração do poder de decisão. No entanto, como esta concentração é um elemento essencial do modelo produtivo de quem toma as decisões, o problema da variedade só pode ser tratado em suas ramificações secundárias, que são: i) aumentar a capacidade de criação e gerenciamento da informação pela classe menor, onde na ponta estão os softwares e processos modernos de engenharia simultânea; ii) facilitar a tarefa de transdução da informação pela classe maior, onde na ponta estão as máquinas de fabricação digital. Os resultados de se tentar resolver os problemas internos do sistema de produção industrial através do superdesenvolvimento de sua própria lógica de concentração levam à

polarização da sociedade, ao surgimento de monopólios e em suma, à redução da diversidade (ILLICH, 1974).

O agravamento dos processos de concentração decisória e desqualificação dos trabalhadores pode ser verificado na prática, por exemplo, na indústria automobilística, onde a automação microeletrônica já se encontra consolidada (MARQUES, 1990). A existência de cooperativas que utilizam a mesma organização de trabalho da manufatura demonstra também que a propriedade coletiva dos meios de produção não significa em si a adoção de um processo de trabalho mais dialógico e diverso. Porém, ambos os processos abrem possibilidade para o surgimento de novos tipos de organização. Neste sentido, os vários movimentos de colaboração e disseminação do conhecimento em rede, baseados nas tecnologias da informação e comunicação, apontam para novas possibilidades de reversão do processo de concentração do poder decisório que questionam tanto o conceito tradicional de propriedade, quanto a organização tradicional do trabalho (MASTNY et al, 2012). Contrapondo-se à produção industrial os movimentos de desenvolvimento e compartilhamento online de *open hardware*, como o *Open Source Ecology*, *WikiHouse*, *Thingiverse*, *Yeggi*, *Instructables*, *SketchChair*, *Open Desk*, entre tantos outros, aliados a espaços de produção compartilhada, como os *FabLabs*, *Tool Libraries*, *Free Farms*, *Community Workshops*, estão crescendo no mundo todo e trazem a promessa de uma nova revolução industrial descentralizada (CARSON, 2010).

Uma das situações brasileiras que pode servir de berço para o desenvolvimento da lógica de produção compartilhada é a produção de moradias nas favelas. Neste contexto o problema da baixa

diversidade industrial aparece de forma extremada perante a alta complexidade, tanto morfológica quanto de organização social, das casas, becos e vilas. Esta complexidade dificulta que se usem as ferramentas e processos convencionais de projeto e de construção utilizados pela indústria da construção. A dificuldade fica clara na resistência dos moradores durante os eventuais processos de reassentamento em conjuntos habitacionais. Muitos moradores não se adaptam à baixa variedade de soluções que as construtoras contratadas conseguem oferecer perante a alta variedade de que disfrutavam no contexto auto-produzido da favela. Neste contexto de auto-construção, a fabricação digital e o compartilhamento de tecnologias *open source* parecem ser, juntos, uma resposta tecnológica interessante. Especialmente se considerarmos a possibilidade de desenvolvimento amador de máquinas de fabricação digital, viabilizadas pela disponibilização de material instrucional na internet, e o uso compartilhado desta tecnologia, através de oficinas comunitárias.

### Metodologia e Materiais

Para investigar as questões discutidas acima optamos por levar a cabo experimentos laboratoriais conectados a uma situação extramuros: a reforma e ampliação de uma casa na favela através do uso de material construtivo descartado. O experimento é constituído de três frentes que estão sendo desenvolvidas de forma concomitante: (i) contato e estudo de um sistema de produção fora do contexto industrial; (ii) desenvolvimento e disponibilização das ferramentas de fabricação digital fora do contexto industrial; (iii) experimentação e criação de soluções construtivas para esse contexto utilizando a fabricação digital.

O intuito da primeira frente de pesquisa é escolher e compreender o contexto de um sistema de produção alternativo, mesmo que em partes, ao sistema de produção industrial. O intuito da segunda frente de pesquisa é, além de desenvolver o maquinário a ser utilizado no contexto em questão, disponibilizar toda a tecnologia de produção deste maquinário de maneira comentada (material instrucional) para viabilizar experimentos similares, dando sequência à investigação. O objetivo da terceira frente de pesquisa, além de se familiarizar com soluções construtivas para a casa em questão, é contribuir para o repertório de soluções disponíveis hoje na internet para aqueles que possuem máquinas de fabricação digital num contexto de adversidade, como o escolhido. Ao final, o intuito da pesquisa é não só verificar se a fabricação digital pode se adequar ao contexto não industrial como viabilizar que se reproduzam outras experiências do mesmo tipo.

### Resultados

(i) A localização de uma situação/problema fora do contexto industrial foi facilitada pela junção com outras pesquisas paralelas relacionadas ao problema da moradia em uma favela. Foi estabelecida uma parceria com um dos moradores desta favela para que a reforma de sua casa participasse da pesquisa. Em conjunto com este e outros moradores foi feito o levantamento da construção existente, dos materiais disponíveis na região e das necessidades da nova moradia. A partir daí foi feito um projeto básico e iniciou-se a recuperação da estrutura existente, para dar sequência à ampliação desejada através dos procedimentos experimentais de fabricação digital. Nesta frente de pesquisa observou-se que os auto-cons-

trutores da favela possuem uma maneira de construir sem utilizar projetos, ou seja “pensar enquanto se faz”, e de construir conforme surgem as necessidades, ou seja, “fazer enquanto se vive”. Desta maneira conseguem adequar rapidamente suas casas às demandas sociais que surgem, utilizando muitas vezes a própria variedade de material descartado (reuso) que está disponível no contexto da cidade. Quanto à variedade, esta maneira de trabalhar supera a capacidade industrial de atender às demandas sociais e materiais de seu contexto. Por outro lado, apesar do conhecimento empírico que adquirem através da experimentação intensa com os materiais, os auto-construtores tem a qualidade de suas produções prejudicada pela falta de acesso ao conhecimento científico e aos equipamentos de que desfruta a indústria da construção.



Figura 1: Esquema conceitual do processo de trabalho do auto-construtor. Ao analisar as demandas sociais sobre o espaço, o construtor modela um propósito a princípio muito abstrato. Analisa então os materiais que tem à mão e começa a associá-los de acordo com seu propósito. A cada rodada o construtor tem a oportunidade de agregar novas demandas sociais e novos materiais.

(ii) A disponibilização das ferramentas de fabricação digital está sendo feita através do projeto e construção de uma fresadora CNC de 3 eixos de baixo custo, já que uma aplicação em um contexto de baixo capital econômico não seria viável a partir do preço desta ferramenta no mercado. Foram feitas duas versões da máquina, seguindo predominantemente as indicações do site <http://www.cncroutersource.com/>. A primeira versão foi projetada para ter as peças cortadas artesanalmente e a segunda, usando uma cortadora a laser. Após os testes funcionais desta última versão estamos caminhando para a construção de uma terceira máquina cujo projeto foi feito de maneira que a estrutura da máquina possa ser reproduzida futuramente através da própria máquina.

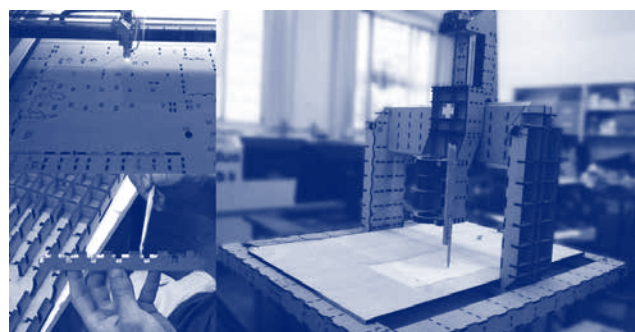


Figura 2: Segundo protótipo da fresadora. À esquerda: as peças sendo cortadas e montadas usando cola. À direita: a fresadora executando um desenho com um lápis.

O desenvolvimento concomitante da máquina e das pesquisas sobre o contexto produtivo da favela demonstraram que, mesmo com baixos custos de produção, os protótipos da máquina desenvolvidos possuíam ainda muitos traços de seu desenho industrial original. Estes traços acabariam por impedir sua aplicação no contexto material e social da favela. Os moradores da casa em questão, apesar de não ter condições financeiras para comprar materiais, possuíam à disposição uma grande quantidade de madeira que haviam coletado no entorno da construção. Porém, a máquina que se estava fazendo somente era eficiente para trabalhar com chapas de madeira homogêneas, já que tomava muito tempo adequar o modelo digital de uma peça às informações existentes nos materiais coletados.

Nos termos da lei da variedade requisitada de Ashby, o contexto da auto-construção da favela requeria mais variedade do que aquela provida pela utilização da máquina. Porém, como observado na maneira de trabalhar dos auto-construtores, uma maneira eficiente de se responder a um contexto de alta complexidade é através da flexibilização dos processos de projeto, construção e uso. Desta forma é possível incorporar informação mais facilmente. Portanto aprimorar a interação humano-máquina se revelou como uma maneira mais fácil e mais benéfica de aumentar a variedade final de respostas que o uso da máquina poderia prover. Sendo assim, foram pensados três aprimoramentos no projeto da máquina:

O primeiro aprimoramento seria unificar os processos de projeto e de corte que são separados em diferentes softwares. No funcionamento tradicional da máquina através dos software *open-source* disponíveis os projetos precisam ser exportados no formato “.dwg”, “.dwx”, entre outros formatos de arquivo vetorial, para que, então, sejam abertos em um segundo software. Este segundo software servirá para gerar as coordenadas dos pontos por onde a ferramenta da máquina deve passar para esculpir a forma desejada. Feito isso, o arquivo de coordenadas, chamado de código G, precisa ser aberto em um terceiro software, o qual lê as coordenadas e as traduz em pulsos, de forma a controlar os passos dos motores da máquina, executando o trabalho desejado. Este longo processo é o principal empecilho no trabalho com o material coletado, já que este tem dimensões variadas. Estas variações demandam o ajuste dos parâmetros de corte no momento da execução de cada peça. Para resolver esta questão foi montada uma programação no mesmo software onde vinha se modelando o projeto da casa, o *Grasshopper*. Esta programação faz localmente todas as etapas que eram feitas nos outros softwares e envia os desenhos diretamente para a máquina executar.

O segundo aprimoramento, ainda a ser feito, é acoplar sensores na máquina para ler o tamanho das peças a ser cortadas. Vimos que seria possível poupar tempo se o *Grasshopper* pudesse, no momento em que posicionássemos uma peça retangular de madeira na máquina, incorporar automaticamente o tamanho dela nos parâmetros que gerariam as junções a ser cortadas. Desta maneira não teríamos que medir cada peça e inserir as medidas delas via teclado para ajustar os parâmetros da execução de cada junção. Isto está sendo desenvolvido utilizando sensores ultrassônicos de distância afixados nas régua que fixam as peças na mesa para a fresagem. É importante ressaltar que esta adap-

tação só é possível devido à conexão direta, estabelecida entre o software de modelagem (*Grasshopper*) e a máquina, viabilizada no primeiro aprimoramento.

O último aprimoramento planejado será tanto acoplar um *datashow* para projetar o modelo digital sobre o material a ser cortado, como também acoplar uma câmera para capturar a imagem do material sendo cortado e dispô-la por trás do modelo digital no computador. Estes passos encurtarão o tempo de *feedback* entre o material e o modelo tanto na hora de posicionar o material na máquina de acordo com o modelo, quanto na hora de posicionar o modelo no software de acordo com a forma do material. Certamente que implantar estes dois processos é um pouco redundante. Porém esta redundância ajudará aquelas pessoas que tem pouca familiaridade com a utilização de computadores a usar a máquina. Além disso, também viabiliza se fazer o que for mais fácil no momento: ajustar a posição do modelo ao material ou do material ao modelo.

Estes aprimoramentos da máquina visam o estabelecimento do que poderíamos chamar de ‘um diálogo de orações curtas’ entre o modelo e o material. Este diálogo foi exemplificado pelo uso de procedimentos automáticos curtos, como cortar uma junção em uma peça existente. Porém, posteriormente, isso poderia ser expandido para uma biblioteca de tipos de encaixes e furos de curta execução que pudessem ser manipulados pelos auto-construtores através de botões na própria máquina. Desta maneira eles acessariam um nível básico da variedade de formas que a máquina pode executar e, manualmente, as combinariam no material. Assim como acontece na utilização de ferramentas elétricas de mão, seria gerado assim um misto de trabalho artesanal e automático.

(iii) A experimentação de soluções já existentes no campo da fabricação digital vem sendo feita utilizando-se a máquina de corte a laser. Foram experimentadas na madeira as diferentes junções criadas por Jochen Gros em sua apostila “50 digital wood joints”, com interesse principalmente nas junções de encaixe e desencaixe, que abrem possibilidades para interferência fácil do usuário nas estruturas. Outras soluções foram projetadas utilizando-se o *Grasshopper* e prototipadas em papelão, como vigas treliçadas e treliças espaciais desmontáveis. E por fim foram analisadas estruturalmente algumas destas treliças através de um plugin de análise em tempo real chamado *Karamba*. Foi realizada também uma experiência de construção utilizando processos de projeto paramétrico, os quais mesmo sem a utilização de máquinas de fabricação digital devido à diversidade dos materiais empregados, se mostraram eficientes na incorporação de informação durante a construção.

## Discussão

Conforme esperado, constatou-se que a inserção da fabricação digital num ‘ecossistema tecnológico’ já existente demanda considerações especiais (ligadas, por exemplo, a questões culturais) que muitas vezes fogem da esfera meramente técnica de aplicação daquela tecnologia (FEENBERG, 2010). Alguns problemas que inicialmente foram pensados para serem solucionados através da

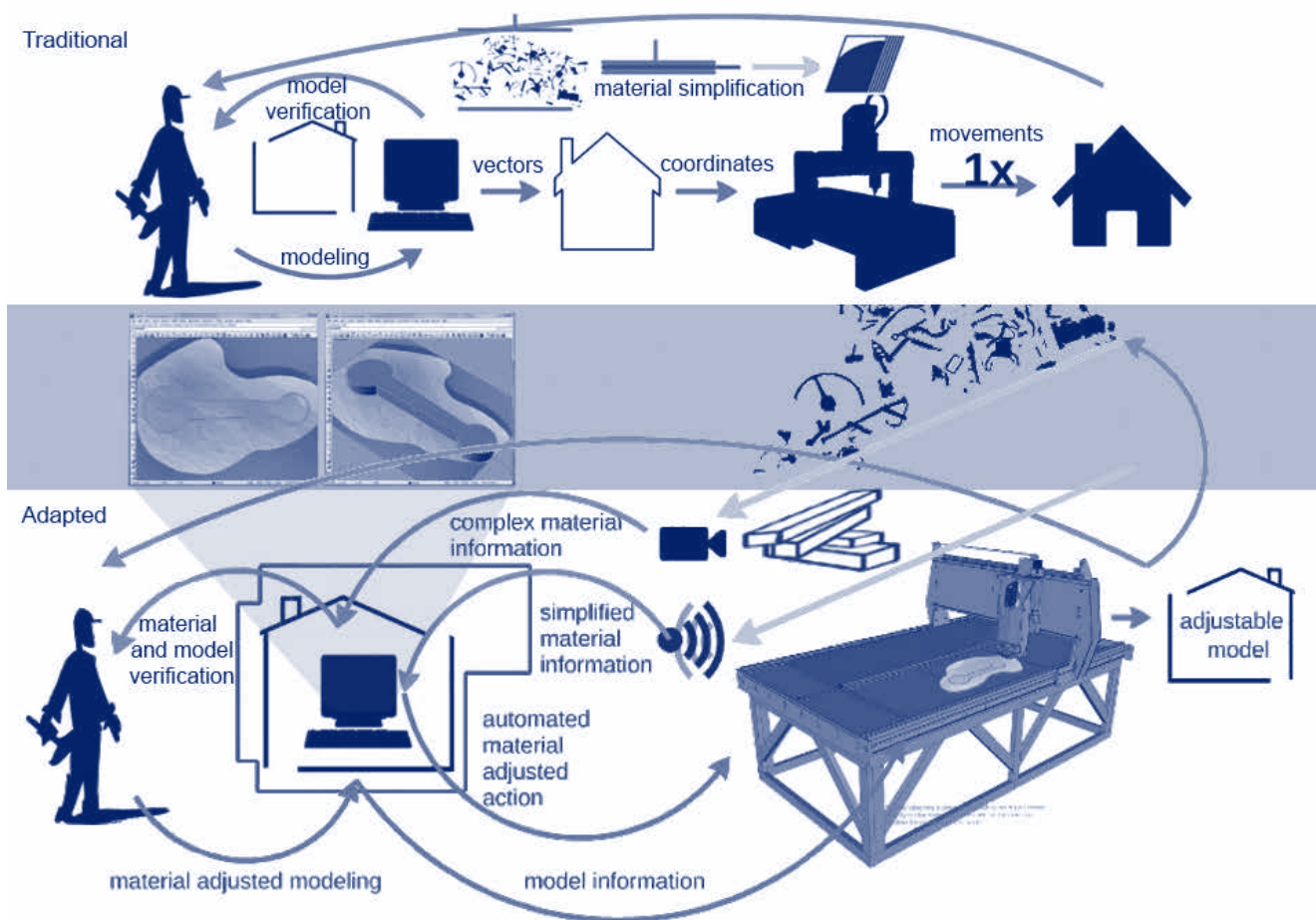


Figura 3: No topo esquema do sistema tradicional de funcionamento da máquina utilizando os softwares open source disponíveis. A lógica industrial de divisão do trabalho é reproduzida na fragmentação dos softwares e no fluxo unidirecional de informação entre eles. Logo abaixo esquema de como se pensa em adaptar o sistema à lógica da auto-construção, através da comunicação direta e da construção de ciclos de feedback.

fabricação digital se mostraram, naquele contexto, mais facilmente solucionáveis pelos métodos tradicionais, já dominados por aquele grupo social. No contexto da pesquisa constatou-se, também, que a fabricação digital aumentou consideravelmente a variedade de soluções possíveis, como por exemplo na execução de encaixes complexos para articular materiais de maneira reversível, sem a necessidade de cola e parafusos. Este aumento da variedade, por certo, significa um aumento de liberdade. No entanto, esta “liberdade” aumenta exponencialmente quando a tecnologia de ponta é combinada com as chamadas ‘baixas tecnologias’. Neste sentido, mais que uma aplicação estrita da fabricação digital, a interrelação da mesma com tecnologias existentes se revelou mais significativa, o que acabou dando novas direções à pesquisa. Dentre estas direções a que se mostra mais promissora é a possibilidade de se utilizar as oficinas comunitárias como ferramentas de diálogo entre estes diferentes conhecimentos que encontram-se hoje divididos em diferentes classes sociais.

## Referências

- Ashby, W. Ross. (1956). *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall. Retrieved from <http://pcp.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf>
- Avery, Mikael. (2014) *Digital Joints: ideas concerning the use of unconventional materials and CNC routing*. Retrieved from [http://www.draftworksind.com/files/draftworks\\_digitaljoints.pdf](http://www.draftworksind.com/files/draftworks_digitaljoints.pdf)
- Carson, Kevin A. (2010). *The Homebrew Industrial Revolution - A Low Overhead Manifesto*, Booksurge. Retrieved from <http://dl.dropboxusercontent.com/u/4116166/NewHomeBrew.pdf>
- Feenberg, Andrew. (2010). *Ten paradoxes of Technology*. *Techné* 14:1. Retrieved from <https://www.sfu.ca/~andrewf/paradoxes.pdf>
- Gros, Jochen. *50 Digital Wood Joints*. Retrieved from [http://download.flexiblestream.de/Digital\\_Wood\\_Joints\\_Complete.zip](http://download.flexiblestream.de/Digital_Wood_Joints_Complete.zip)
- Illich, Ivan. (1974) *La convivencialidad*. Barcelona: Barral Editores. Retrieved from [http://viruseditorial.net/pdf/la\\_convivencialidad-prueba.pdf](http://viruseditorial.net/pdf/la_convivencialidad-prueba.pdf)
- Marques, Rosa Maria. (1990). *O impacto da automação microeletrônica na organização do trabalho em duas montadoras brasileiras*. *Revista de Economia Política*, vol.10, n.º 3 (39), julho-setembro. Retrieved from <http://www.rep.org.br/pdf/39-5.pdf>
- Mastny, Lisa; Philleo, Wendy; Lee, Wen. (2012) *Guide to Sharing*. Center for a New American Dream.