

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/336650159>

# Interação Físico-Digital no Projeto de Arquitetura: materialidade, virtualidade e concepção.

Conference Paper · October 2019

CITATIONS

0

READS

66

3 authors:



**Tales Lobosco**

Federal University of Minas Gerais

36 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

SEE PROFILE



**Gustavo Jun Moritani**

Federal University of Minas Gerais

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



**Danilo Celso**

Federal University of Minas Gerais

3 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Uso e Produção do espaço Urbano Informal [View project](#)



Espaço Urbano em Cidades Árabes [View project](#)

## **Interação Físico-Digital no Projeto de Arquitetura: materialidade, virtualidade e concepção.**

### **Tales Lobosco**

Doutor em Arquitetura e Urbanismo; Professor na Universidade Federal de Minas Gerais.  
lobosco@ufmg.br

### **Danilo Celso**

Graduando em Arquitetura e Urbanismo; Universidade Federal de Minas Gerais.  
danilo-celso@outlook.com

### **Gustavo Jun Moritani**

Graduando em Arquitetura e Urbanismo; Universidade Federal de Minas Gerais.  
gustavojunmoritani@gmail.com

## **Eixo: O projeto na Produção da Cidade Contemporânea**

### **Introdução**

A adoção constante e progressiva de ferramentas computacionais na produção arquitetônica tornou possível, tanto aos processos de projeto quanto aos construtivos, lidar com grande quantidade de informação e precisão. Este encadeamento alterou a lógica ortogonal e repetitiva tradicionalmente utilizada, rompendo a conexão, até então inevitável, entre projeto e planos ortogonais, e liberando a produção arquitetônica para lidar com formas complexas, irregulares e grande variabilidade formal (KOLAREVIC, 2003). Essa transformação trouxe, entretanto, um custo intrínseco: os processos de projeto se distanciaram da atuação direta e intuitiva sobre o artefato, abandonando as relações materiais e gestuais, para se organizar em procedimentos excessivamente objetificados (CABRAL FILHO, 2013).

Na transição dos processos tradicionais, como croqui e maquetes, para as ferramentas digitais, as interfaces intuitivas e diretas, que permitiam a representação de informações abstratas e subjetivas, em diversos níveis de precisão, foram se tornando cada vez mais objetivas e precisas, rompendo a relação gestual e tátil inerente ao modo natural de interação entre o usuário e objeto (GÖTTIG et al.,

2004). Essa condição cria uma interação passiva e excessivamente mediada entre o arquiteto e seu objeto, gerando um distanciamento entre a relação cognitiva e a forma em gestação.

Diante desta situação, diversos autores assinalam a importância da expressão e exploração tátil no gesto de concepção, afirmando como o pensamento sensorial e corporificado precisa que as ferramentas de trabalho se comportem como extensões do corpo (PALLASMAA, 2013; SENNET, 2004; CAMPO BAEZA, 2009), simulando a operação natural das mãos, nos croquis e maquetes processuais, nos movimentos iniciais de um projeto (GÖTTIG et al., 2004).

Por outro lado, a modernidade e a evolução tecnológica nos permitem imaginar e propor novos métodos para tornar a experiência humana mais próxima do objeto e ampliar a gama de possibilidades oferecidas pela programação em conjunto às nossas próprias mãos (FLUSSER, 2007). Neste sentido vemos o surgimento de diversas ferramentas projetuais imersivas, como as plataformas em realidade virtual, que buscam fechar este ciclo, fazendo o resgate das relações táteis e gestuais no processo de projeto digital, reaproximando o arquiteto de seu objeto e buscando a produção de interfaces mais intuitivas e simples (LOBOSCO, 2018).

Apesar da grande evolução neste sentido, muita coisa ainda falta para uma verdadeira integração entre processos físicos e digitais nas ferramentas de concepção arquitetônica, principalmente em relação à materialidade e relação tátil, que ainda se mostram muito deficientes nessas plataformas.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é estudar e desenvolver os mecanismos possíveis para uma efetiva integração entre essas plataformas, de forma que elas possam trabalhar de maneira paralela e complementar durante o processo de concepção arquitetônica. Assim, uma exploração mais integrada, entre procedimentos tradicionais e novas tecnologias, pode significar a recuperação da materialidade e gestualidade no processo de projeto.

## Objetivos

O objetivo do trabalho é desenvolver mecanismos que permitam a exploração das qualidades inerentes aos procedimentos tradicionais, gestuais e materiais de projeto, mas de maneira integrada às novas tecnologias e aos processos digitais de projeto. Para isso, buscaremos a construção de mecanismos que permitam a transposição simples e rápida entre as plataformas, seja pela digitalização de modelos e estudos produzidos manual ou fisicamente, ou, no sentido inverso, na materialização de modelos digitais ou virtuais.

A proposta se baseia na possibilidade de tirar partido das qualidades específicas de cada suporte, que possam ir além da simulação de uma dentro do ambiente da outra, situação que identificamos ser possível e bastante promissora, mas que ainda apresenta grandes limitações específicas (LOBOSCO, 2018).

### **Métodos e procedimentos**

Assim, os procedimentos do trabalho se voltam para a integração ativa entre as plataformas manual e digital, através da facilitação da transposição rápida entre elas, de modo a não romper o processo criativo e de desenvolvimento formal/conceitual.

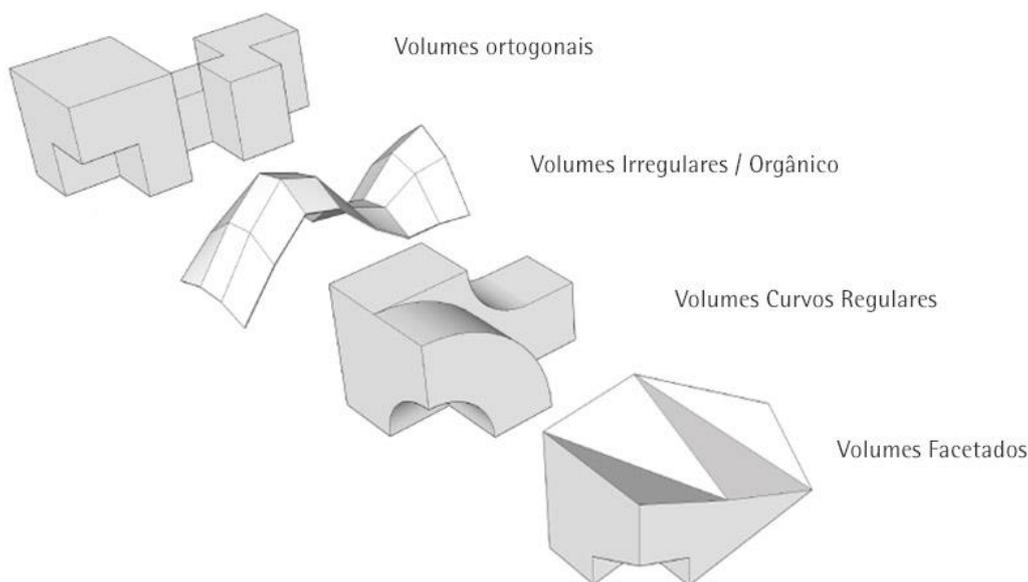
Com a integração ativa, buscamos proporcionar uma alternância sucessiva entre os meios digital e material, produzindo um processo ativo capaz de se beneficiar das características intrínsecas de cada plataforma, ou seja, permitindo ao projeto evoluir de maneira paralela e alternada entre os distintos meios.

### **Processo Digital-Material**

Apesar de existirem diversos sistemas de prototipagem digital bastante eficientes e confiáveis, eles são em geral demorados e um tanto complexos, além de custosos. O que buscávamos era a possibilidades de materialização de um modelo digital de maneira simples, rápida e de baixo custo, que pudesse ser repetida quantas vezes fosse necessário, e ainda permitisse ser retrabalhado manualmente, de maneira a não quebrar o fluxo cognitivo de produção dos objetos arquitetônicos desenvolvidos.

Deste modo, optamos pela construção de modelos em papel Kraft 300g/m<sup>2</sup>, que possuem boa resistência e grande maleabilidade e facilidade de corte. Assim, além de baratos, podem ser construídos rapidamente, e permitem ajustes e alterações de maneira bem simples, conforme o projeto é transformado.

Para este trabalho selecionamos quatro tipos de volumes distintos, de modo a abranger as diferentes características existentes nos modelos dos objetos arquitetônicos desenvolvidos (Figura 01), a intenção é de isolar as características específicas para buscar os caminhos preferenciais na modelagem de cada tipo de objeto.



**Figura 01:** Tipos de modelos utilizados para os testes de prototipagem. **Fonte:** Autores

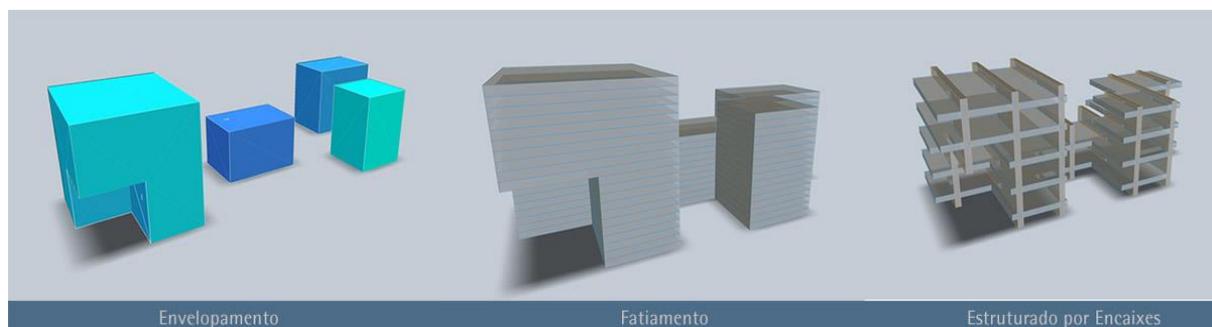
Assim, teremos modelos compostos por volumes ortogonais, com faces lisas e perpendiculares entre si; modelos compostos por volumes irregulares ou orgânicos<sup>1</sup>, compostos por faces com curvaturas complexas; modelos com volumes curvos regulares, com curvaturas em apenas um sentido; e modelos com volumes facetados, ou seja, com geometria não ortogonal, mas composto por faces retas.

Para construção dos modelos utilizamos os softwares Slicer for Fusion e Pepakura Designer, devido a facilidade de uso e bons resultados obtidos por ambos nos testes preliminares. O Slicer permite desenvolver maquetes rápidas através de diversos padrões de composição dos modelos, e o Pepakura, embora só seja compatível com o envelopamento produziu pranchas mais limpas, permitindo remover os conectores e facilitando os cortes.

Como padrões de prototipagem utilizamos: o envelopamento - *Folded Panels*, que é construído através do “desdobramento”, ou seja, a abertura das faces do modelo em um plano, resultando em painéis que devem ser cortados e dobrados para gerar as diversas partes do modelo; o fatiamento - *Stacked Slices*, que é feito através do corte do modelo em fatias sequencias, de espessura controlada e uniforme, que, ao serem empilhadas reconstróem o modelo original; e o estruturado por encaixes -

<sup>1</sup> Para possibilitar a construção dos modelos simples em papel reduzimos as curvaturas originais da superfície a um conjunto de faces retas, recompondo a curvatura original.

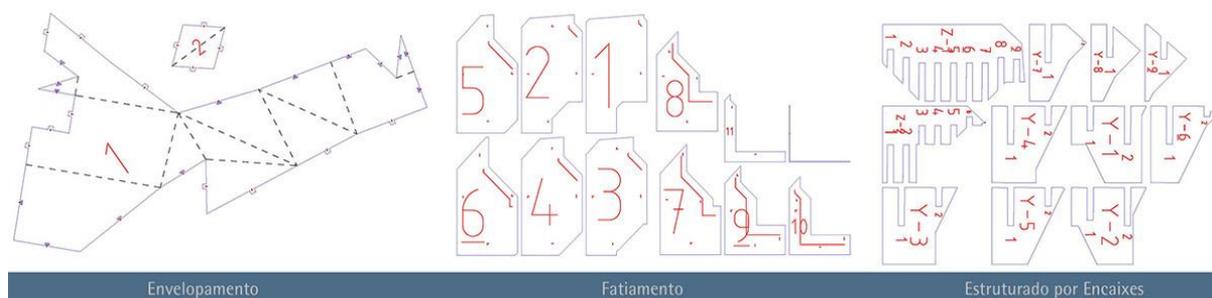
*Interlocked Slices*, gerado através da estruturação de fatias espaçadas oriundas de cortes em diversos planos, que são intertravadas através de encaixes (Figura 02).



**Figura 02:** Tipos de prototipagem utilizadas para os testes: envolvimento, fatiamento e estruturado por encaixes. **Fonte:** Autores

Os softwares transformaram os volumes utilizados em uma sequência de formas planas, que foram impressas em papel para ser utilizado como molde para o corte das peças nos papéis (*kraft*, papelão corrugado ou *foam*), utilizados para a montagem final dos modelos (Figura 03).

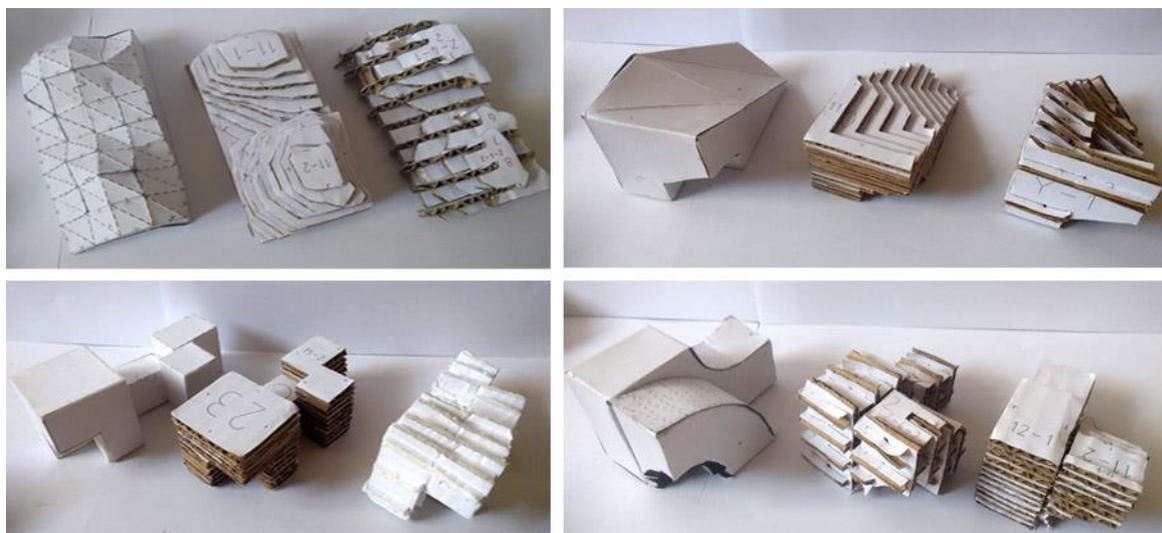
De acordo com a quantidade e tamanhos das peças ou a disposição da planificação, os próprios softwares segmentaram e otimizaram as pranchas no formato do papel utilizado.



**Figura 03:** Tipos pranchas de corte geradas para cada tipo de prototipagem: envolvimento, fatiamento e estruturado por encaixes. **Fonte:** Autores

## Resultados Prototipagem

Após geradas as plantas de corte, experimentamos a construção dos modelos a partir dos diversos padrões de montagem (Figura 04) para averiguar as características de montagem, visualização e retrabalho de cada padrão e também se existiria alguma relação da maior compatibilidade entre padrão formal e tipo de montagem.



**Figura 04:** Exemplos dos padrões de montagens dos diferentes modelos. **Fonte:** Autores

**Envelopamento:** O modelo por envelopamento ou desdobramento das faces se mostrou bastante simples para os objetos ortogonais e mesmo curvos, mas a montagem se complexificou bastante em objetos orgânicos, irregulares ou facetados, produzindo um número muito grande de faces, com relações de corte e dobra entre elas bastante complexo, e, em algumas situações, o modelo precisou ser segmentado pois os padrões de dobra não permitiam uma planificação única. Este protótipo apresentou uma percepção excelente das formas construídas, sem vazios ou escalonamentos das faces e permitiu um retrabalho bastante intuitivo e simples através de cortes diretamente nas faces ou inserção de trechos tanto envelopados quanto construídos através de outros métodos de prototipagem.

**Fatiamento:** Modelo simples, de montagem rápida, porém necessitaria um número muito grande de fatias empilhadas (aproximadamente 80), se fosse utilizado um papel de pouca espessura como o Kraft 300g/m<sup>2</sup>. Alternativamente executamos a montagem com papéis mais espessos como o papel papelão corrugado, o que aumentou um pouco a dificuldade de corte, ou o papel pluma (*foam*), que gerou um modelo final mais custoso. De modo geral, esta construção apresentou uma capacidade bastante intuitiva de retrabalho, permitindo cortes diretamente nas fatias ou inserção de trechos tanto fatiados quanto construídos através de outros métodos de prototipagem.

**Estruturado por encaixes:** Esta construção se mostrou um modelo de rápida execução, com poucos cortes e montagem simples, entretanto apresentou uma percepção pouco nítida da forma final gerada, o que dificulta bastante a avaliação e o desenvolvimento do processo de concepção.

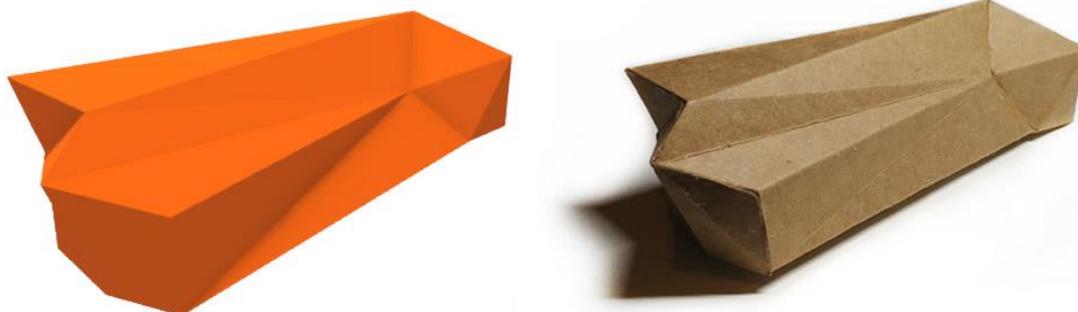
Também apresentou uma capacidade reduzida de retrabalho do modelo, devido tanto à percepção difusa da forma, quando pela complexidade de interpretação nos planos utilizados da forma desejada.

De modo geral os modelos apresentaram uma suficiente simplicidade construtiva e bons resultados de visualização, entretanto, o processo manual de recorte, marcação e colagem ainda consumia muito tempo, assim experimentamos novamente o processo, mas desta vez utilizando o suporte de um plotter de recorte Cricut Maker, para automatizar os cortes, vincos e marcações das peças (Figuras 05 e 06).



**Figura 05:** Corte e montagem do modelo por envelopamento. **Fonte:** Autores

O plotter não acrescentou grande complexidade ao processo sendo de operação bastante simples, utilizando pranchas geradas nos mesmos softwares, mas desta vez foi necessário importar para a interface específica do plotter. Esta transposição e os ajustes de padrões de corte e montagem das pranchas exigiu um período de aprendizado e familiarização com o comportamento geral da máquina diante das variáveis existentes, as vezes necessitando alterar o tipo de imagem gerada pelo Slicer ou Pepakura para que fossem melhor interpretadas pela máquina. De modo geral tivemos que realizar cerca de 4 testes diferentes, para ajustarmos os procedimentos e começarmos a obter resultados satisfatórios. Assim, após este período de adaptação percebemos que o plotter proporcionou a agilidade que julgamos ser necessária para mantermos o fluxo do processo de criação além de apresentar uma melhor qualidade construtiva nos modelos gerados.



**Figura 06:** Modelo digital original e reconstrução por envolvimento após corte no plotter. **Fonte:** Autores

### Processo Material-Digital

Como buscávamos um procedimento simples, rápido e de baixo custo, a primeira proposta para a digitalização dos modelos construídos materialmente foi para utilizarmos a fotogrametria, processo que consiste na extração de informações tridimensionais a partir de um conjunto de imagens bidimensionais de um objeto real, ou seja, poderia ser realizado com uma câmera fotográfica simples.

Na literatura o processo da fotogrametria é conhecido como *Structure from Motion* (SfM), e, embora o conceito básico tenha surgido na década de 60, o processo era realizado de forma analógica, com os pontos semelhantes sendo comparados manualmente, logo exigia uma quantidade enorme de tempo e equipamentos específicos. Assim, apenas recentemente com a evolução da capacidade de processamento e a qualidade dos algoritmos dos softwares gráficos é que a técnica se popularizou, sendo atualmente possível a criação de modelos de forma rápida e com custos bastante reduzidos (MAGALHÃES; CARVALHO, 2017). Os algoritmos dos softwares atuais realizam a identificação e o emparelhamento automático de pixels correspondentes obtidos através das diversas imagens planas do objeto: “a reconstrução 3D se dará com a definição de correspondência entre pontos, triangulação e ajustes entre os mapas de profundidade gerados” (VIEIRA et al., 2016).

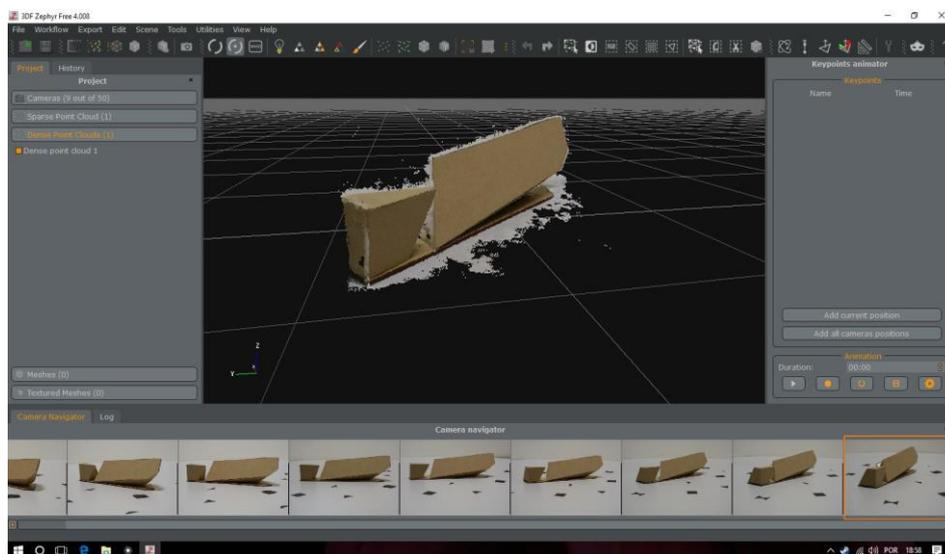
Dada a complexidade da atuação dos softwares neste processo, decidimos testar o procedimento com três softwares distintos visto que o desempenho destes representa um elemento crucial no resultado obtido além de existirem distintos padrões específicos no processo de fotogrametria, seja

pela escala, disposição ou detalhamento do modelo e suas texturas, ou seja, não informações precisas sobre o foco específico de cada um deles.

Deste modo, trabalhamos neste artigo com os softwares: Autodesk Recap, RealityCapture e 3DF Zephyr, sempre nas versões Demo ou gratuitas disponíveis para download e foram feitos aproximadamente quinze ensaios fotográficos, com cada software, do objeto. Para os ensaios utilizamos o mesmo objeto, entretanto, conforme os resultados e experimentos foram indicando, aplicamos diferentes texturas e marcadores específicos sobre o modelo, no intuito de facilitar a leitura do modelo pelos softwares utilizados.

### Resultados Digitalização

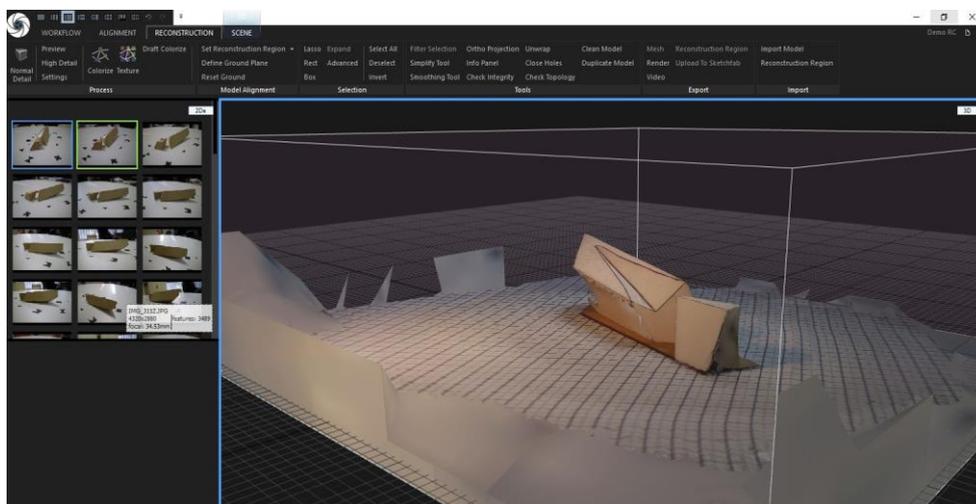
A digitalização realizada com o 3DZephyr apresentou resultados bastante limitados com o tipo de modelo estudado. Entretanto, é importante assinalar que a versão de testes utilizada possuía uma limitação de cinquenta fotos por modelo, o que pode ter restringido a produção de bons resultados.



**Figura 07:** Processo de digitalização através do Software 3DF Zephyr. **Fonte:** Autores

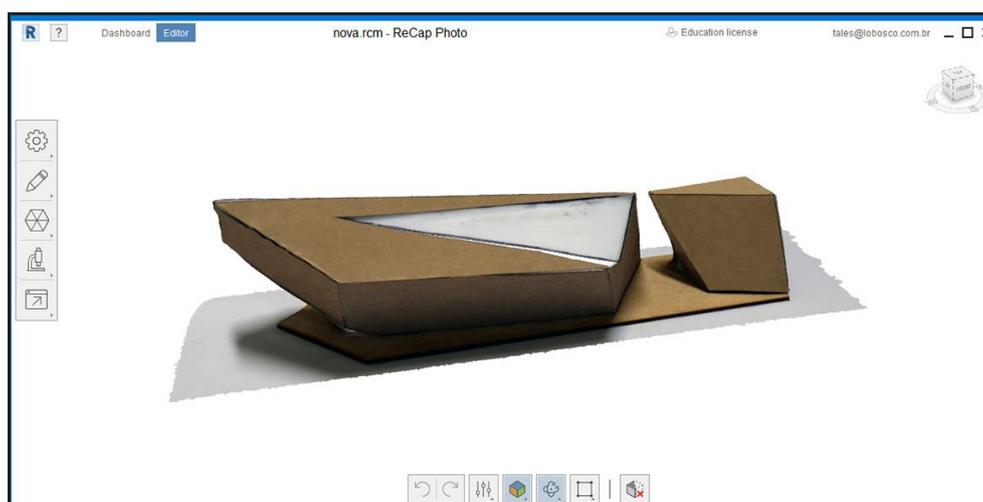
O limite de cinquenta fotos teria sido agravado pelas características do objeto, que, embora de pequena complexidade, apresentava superfícies lisas, brancas e brilhosas, o que se mostrou nos experimentos realizados uma situação de difícil gerenciamento pelos softwares, que exigiu a aplicação de diversos fundos, marcadores e texturas para minimizar seu efeito, e, por fim terminamos por encapar o modelo com papel *kraft* para termos uma superfície fosca e homogênea.

Ainda assim, os modelos gerados, apresentaram problemas no processamento das imagens, e os resultados finais apresentados não foram considerados satisfatórios (Figura 07).



**Figura 08:** Processo de digitalização através do Software RealityCapture. **Fonte:** Autores

Os resultados obtidos no RealityCapture pareceram inicialmente mais promissores, mas, ainda assim, os modelos apresentaram frequentes falhas nas texturas das faces e, muitas vezes, o software não conseguia produzir todas as vistas do objeto, e o resultado final apresentava algumas faces bastante deficientes apesar de oferecer um resultado positivo nas outras. Assim, embora os melhores resultados obtidos estivessem bastante próximos do que necessitávamos, ainda possuíam sempre algumas falhas visíveis, restringindo o seu uso (Figura 08).

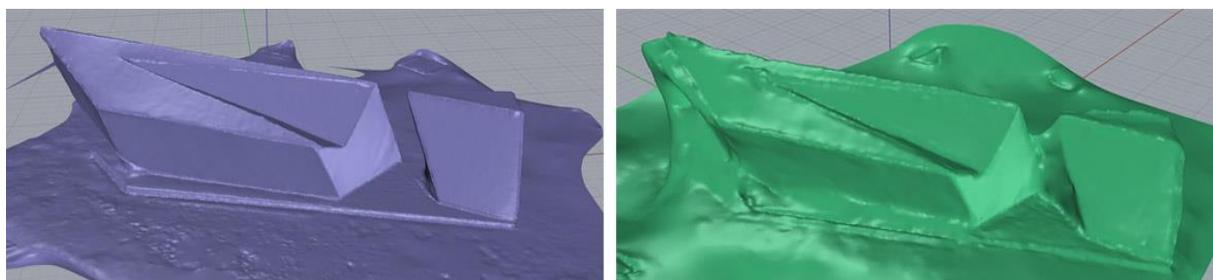


**Figura 09:** Processo de digitalização através do Software Autodesk ReCap Photo. **Fonte:** Autores

A digitalização do modelo através do Autodesk Recap (Figura 09), apesar de apresentar resultados muito mais promissores, foi o único software utilizado que não utilizou processamento local, ou seja, ainda que seja necessário ter o software instalado na máquina, as imagens precisavam ser enviadas para um servidor central e processadas lá, para depois baixarmos o modelo finalizado. Esta situação aumentou em muito o tempo de produção do modelo, pois tínhamos o tempo de transmissão via web, o tempo de processamento e o tempo de download, mas o modelo ainda precisou aguardar uma fila de processamento no servidor.

Com as imagens que tínhamos, de 4320x2880 pixels, realizamos experimentos com cerca de 70 imagens cada e levávamos entre 20 e 25 minutos para upload, 30 minutos aguardando a fila e o processamento e cerca de 5 minutos para download e processamento posterior do modelo.

Esses valores nos levaram a fazer alguns experimentos com imagens menores, buscando reduzir o tempo de espera. Assim refizemos os experimentos com imagens de 2000x1125 pixels e realmente a espera foi bastante reduzida, apresentando valores entre 4 e 6 minutos para upload, 10 minutos para fila e processamento e cerca de 5 minutos para download e processamento posterior do modelo. Entretanto os resultados obtidos foram significativamente inferiores (Figura 10).



**Figura 10:** Variação da qualidade dos modelos de fotogrametria, de acordo com o tamanho dos arquivos.

**Fonte:** Autores

Evidentemente o registro dos tempos gastos em cada etapa pode ser largamente influenciado por diversos fatores, como o tamanho, quantidade e tipo de imagens, a qualidade da conexão de internet, complexidade do modelo, tráfego de arquivos no servidor, entre outros. Mas o trabalho não buscava uma comparação específica e padronizada neste sentido, mas apenas levantar as dificuldades e qualidades de cada método, e os fatores que possam influenciar os resultados e o processo. Portanto, para minimizarmos os efeitos de eventuais desvios, repetimos cada operação três vezes, em diferentes computadores, horários e conexões de rede e assumimos os tempos obtidos como

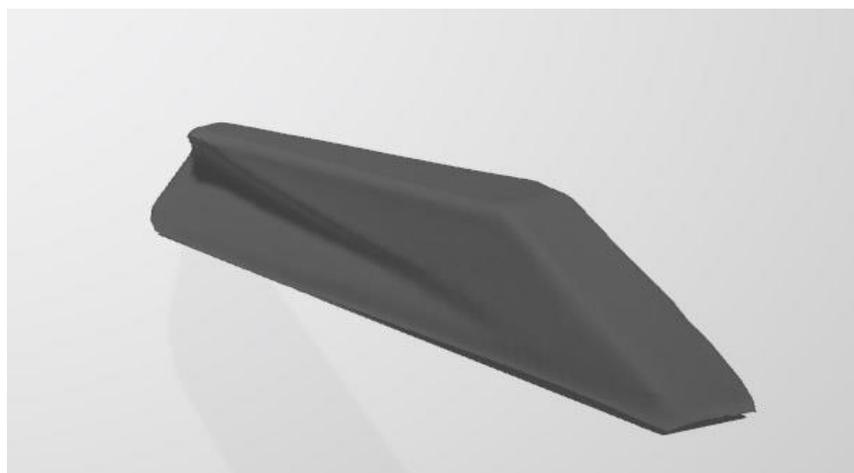
valores referenciais, sendo os resultados apresentados representam o intervalo entre o melhor e pior valor obtido.

### Escaneamento 3D

Apesar dos modelos produzidos pela fotogrametria apresentarem resultados bastante positivos, o tempo exigido para a produção dos modelos se mostrou inviável para garantir a fluidez do processo de projeto durante a transição entre as plataformas material e digital. Assim, como alternativa, experimentamos o escaneamento através do Scanner Sense 3D, visando um processo mais ágil para a produção do modelo, que seja capaz de manter os resultados satisfatórios obtidos.

A correta utilização do Scanner e de todo o sistema de escaneamento exigiu um tempo de aprendizado até a obtenção dos primeiros resultados positivos. Assim como na fotogrametria as superfícies lisas e brilhantes, principalmente nas faces planas e retas trouxeram bastante dificuldade ao processo, fazendo com que o scanner frequentemente perdesse o trackeamento da peça.

Novamente experimentamos o uso de marcadores, texturas e fundos graduados, que se mostraram bastante eficientes, resolvendo satisfatoriamente a questão e os resultados se mostraram, em seguida, bastante promissores (Figura 11).



**Figura 11:** Modelo gerado por escaneamento 3D. **Fonte:** Autores

Apesar de percebermos que o processo de elaboração do modelo digital pode ser amplamente influenciado pela complexidade do modelo, e pelas características de acabamento e superfícies do volume escaneado, de modo geral, os tempos gastos nos experimentos, para a produção do modelo

digital, foram significativamente reduzidos, sendo possível proceder a digitalização completa em cerca de 5 minutos, desde o escaneamento até o processamento posterior do arquivo. Entretanto salientamos as dificuldades de uso de um scanner de baixo custo, que exige repetir a operação algumas vezes devido a erros frequentes e à reduzida qualidade final do modelo gerado.

### Considerações finais

A proposta deste artigo era de experimentar e buscar procedimentos que fossem capazes de resgatar a atuação direta e intuitiva sobre o artefato projetado, e a exploração tátil no gesto de concepção em arquitetura, relações que se romperam na transposição das plataformas de projeto para os meios digitais.

A partir de Lobosco (2018), identificamos que as plataformas em realidade virtual, apresentam um resultado bastante promissor no sentido de recuperar as relações gestuais e intuitivas no processo de projeto digital, mas, se por um lado foram capazes de reaproximar o arquiteto de seu objeto, não obtiveram o mesmo resultado com a recuperação das características de materialidade e relações táteis entre arquiteto e objeto.

A proposta deste trabalho era de buscar procedimentos que fossem capazes de resgatar as relações materiais e táteis do processo de projeto, através da transposição das barreiras entre as plataformas. Assim, experimentamos os processos de transposição entre as plataformas, que pudessem ser desenvolvidos de maneira rápida, barata e simples, permitindo manter o fluxo do processo de projeto enquanto se alterna entre as plataformas, de modo a que seja possível extrair o melhor de cada plataforma, em um processo de projeto desenvolvido de maneira paralela e alternada.

Os resultados apresentados neste artigo demonstram que foi possível desenvolver maneiras de realizar esta integração entre as plataformas de maneira dinâmica e fluida, permitindo formas de recuperação da materialidade e gestualidade no processo de projeto.

Entretanto, entendemos ser necessário estudos posteriores, buscando avaliar os resultados e possibilidades desta integração entre as plataformas, suas contribuições e limites de atuação no processo efetivo de projeto.

## Referências

CABRAL FILHO, J. The ethical implications of automated computation in design. **Kybernetes**, 42 (9/10), 2013, p. 1354-1360.

CAMPO BAEZA, A. **Pensar com las manos**. Buenos Aires: Nobuko, 2009.

ELOY, S. CRUZ, A. Será o digital um equívoco na Arquitetura? *Arq.urb – USJT*, v. 8, 2012, pp. 200-209.

FLUSSER, V. **O mundo codificado**: por uma filosofia do design e da comunicação. São Paulo: Cosac Naify. 2007.

GÖTTIG, R., NEWTON, J. KAUFMANN, S. A Comparison of 3D Visualization Technologies and their User Interfaces with Data Specific to Architecture, In: Van Leeuwen, J.P. and H.J.P. Timmermans (eds.) **Recent Advances in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning**, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2004, pp. 99-111.

JONES, C. **Designing, designing**. London: Architecture Design and Technology Press. 1991.

KOLAREVIC, B. Digital Morphogenesis. In: Kolarevic, B. (Ed.), **Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing**. Londres: Spon Press. 2003. pp. 12-28.

LOBOSCO, T. Virtual Reality as a Tool to Regain Tactual Procedures in Digital Design. In: SIGRADI - Congresso Internacional da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, XXII, 2018, São Paulo, **Anais...**, São Paulo: Blucher, 2018, Vol. 5, N. 1, pp. 37-43.

MAGALHÃES, L., CARVALHO, J. Digitalização Tridimensional de Elementos Escultóricos de Espaços Públicos de Belo Horizonte. In: ARQUIMEMÓRIA, 5, 2017, Salvador, **Anais...**, Salvador, 2017.

PALLASMAA, J. **As mãos inteligentes**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SENNETT, R. **The Craftsman**. London: Penguin, 2004.

VIEIRA, G., SOARES, F., LAUREANO, G. Depth map production: approaches, challenges and applications. In: WVC - Brazilian Workshop on Computer Vision, 12<sup>o</sup>. Out. 2016, Campo Grande, **Anais...**, Campo Grande: UCDB, 2016.