



Estratégias de *design* paramétrico: construção robótica em pesquisa acadêmica e ensino arquitetônicos

Henriette H. Bier

Como citar esse texto: BIER, H. Estratégias de *design* paramétrico: construção robótica em pesquisa acadêmica e ensino arquitetônicos. Tradução do inglês Maria Júlia Martins. **VIRUS**, São Carlos, n. 11, 2015. [online] Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus11/?sec=5>>. Acesso em: dd mm aaaa.

Henriette H. Bier leciona e pesquisa na TU Delft, Holanda. Atualmente é coordenadora de projeto e da série de *workshops* e palestras sobre *design* e fabricação digital na DSD (Delft Escola de Design). Sua pesquisa se concentra não somente na análise e avaliação crítica de tecnologias digitais na arquitetura, mas também reflete sobre a classificação e análise de arquitetura por meios digitais em estudos processuais e orientados a objetos.

RESUMO

Estratégias de *design* paramétrico que empregam *design-para-produção-robótica* (D2RP, do inglês *design-to-robotic-production*) são abordagens relativamente novas na arquitetura. Elas requerem pesquisas transdisciplinares que através do *Hyperbody*, TUD são testadas experimentalmente nas pesquisas acadêmicas e no ensino. Este artigo apresenta e discute abordagens transdisciplinares que empregam estratégias que cruzam diversas fronteiras disciplinares como projeto em arquitetura, engenharia de estruturas, ciências dos materiais e robótica a fim de criar uma abordagem holística.

PALAVRAS-CHAVE

parametrização, V!11, robótica, fabricação digital.

1. INTRODUÇÃO

Construção Robótica (RB do inglês *Robotic Building*) implica tanto, ambientes robóticos construídos fisicamente (fig.1-2), quanto, processos de construção roboticamente suportados (fig.3-6). Ambientes fisicamente construídos roboticamente consistem em sistemas reconfiguráveis e adaptados que incorporam mecanismos sensor-atuante que habilitam as construções e arredores a interagirem com seus usuários em tempo-real. Estes exigem *design-para-produção* (D2P do inglês *design-to-production*) e operam cadeias que podem ser (parcialmente ou completamente) guiadas roboticamente. Construção Robótica RB, portanto, oferece soluções para construções com eficiência energética, produção e operação orientada pela demanda e uso eficiente dos recursos.

O *know how* desenvolvido na última década pelo *Hyperbody*, TU Delft em RB avança na Arquitetura Interativa e Não-convencional (NS & IA do inglês *Non-standard and Interactive Architecture*) e foi conceitualmente desenvolvido como vertente de investigação independente desde 2009. Acumulando investigações em sistemas com inteligência incorporada (BIER, 2008), os quais têm avançado mais com foco nos sistemas robóticos. Eles se baseiam na integração da robótica ou ciber-físico e tecnologias de computação de nuvem (*cloud-computing*) na operação e produção arquitetônica que leva para novas abordagens (WU; ROSEN; SCHAEFER, 2014) que estão se aproveitando das tecnologias da 4ª Revolução Industrial. Se a 1ª Revolução Industrial se originou da mecanização da produção usando o poder do vapor, e foi seguida pela 2ª Revolução Industrial que introduziu a produção em massa empregando energia elétrica, a 3ª Revolução é a digital, que fez uso da eletrônica para automatizar a produção (inter al. BRÜNGLINGHAUS, 2015). A 4ª Revolução industrial implica o uso de *cyber-physical* ou sistemas robóticos e de *Internet* de coisas e serviços, a fim de monitorar os processos físicos criando representações virtuais do mundo físico que suporte fazer decisões descentralizadas. (inter al. KAGERMANN et al., 2013)

RB depende, portanto, da (a) interoperabilidade, que é a habilidade dos sistemas robóticos, humanos e fábricas conectarem-se e comunicarem-se por *Internet* (rede internacional) de coisas e serviços, (b) combinar físico e virtual através da associação de dados sensor-atuador (a partir do monitoramento dos processos físicos) com simulações e modelos virtuais, (c) descentralização, que é explorar a habilidade dos robôs operarem autonomamente, e (d) operação em tempo-real que implica que dados sejam trocados em tempo-real (inter al. HERMANN; PETEK; OTTO, 2015; OOSTERHUIS; BIER, 2013). RB emprega todos estes conceitos e estende-os pela inclusão da repetição do D2P na atual operação de construção.

Este artigo apresenta e discute a implementação de RB no ensino e pesquisa respeitando uma abordagem transdisciplinar segura de transferência de conhecimento de uma disciplina para outra. As principais disciplinas envolvidas são arquitetura, engenharia estrutural, ciência dos materiais e robótica. Dentro destas disciplinas, aspectos específicos como o *design* paramétrico, programação, sistemas de sensibilidade, ação e controle, etc. fazem interface com outros para desenvolver estratégias que cruzam as fronteiras das disciplinas a fim de criar uma abordagem holística.

V!RUS 11

É parametrização, baby!

revista do nomads.usp | nomads.usp jornal
issn 2175-974x | CC BY-NC
www.nomads.usp.br/virus| vnomads@sc.usp.br



Figura 1: Apartamento reconfigurável desenvolvido pelo *Hyperbody* com dois estudantes de mestrados. Fonte: MultiMod, 2013.

2. DESCRIÇÃO

O conceito RB é baseado no entendimento e no planejamento de construções a partir de uma perspectiva de ciclo de vida que respeite os impactos culturais, socioeconômicos e ecológicos. Acredita-se que os componentes robóticos de construção (*robotic building*) podem oferecer soluções para lidar com o crescimento populacional e a densificação urbana, bem como, o uso ineficiente (25-50%) do espaço construído, com a introdução a reconfiguração espacial que permite multiplicar e alterar os usos dentro de prazos reduzidos. Além disso, interatividade incorporada ou energia robótica e sistemas de controle climático podem reduzir a pegada ecológica da arquitetura, permitindo, simultaneamente, uma utilização eficiente de energia, com base em tempo e demanda orientada para o uso do espaço. Tais sistemas robóticos dependem de processos D2P e operação que estão se conectando com modelos paramétricos de comando numérico (NC) e fabricação robotizada, a fim de atingir uma produção eficiente e operação de componentes customizados para uso personalizado.

3. PESQUISA

RB se destina para duas mudanças de paradigmas (a) uma transição da produção industrial mecânica para NC (comando numérico) e a customização em massa guiada roboticamente e (b) ambientes arquitetônicos que transitam do inanimado (inerte, sem sensibilidade) para o animado (atuante e sensível). RB emprega *cyber-physical* ou sistemas robóticos e de *Internet* de coisas e serviços a fim de monitorar processos físicos através da criação de representações virtuais do mundo físico que suportem fazer decisões descentralizadas (KAGERMANN et al., 2013; BIER; MOSTAFAVI, 2015). Isto é relevante por causa do seu impacto na arquitetura que respeita construções energeticamente eficientes, produção e operação guiadas por demanda e uso eficiente dos recursos.

Duas vertentes de investigação abordam as duas mudanças de paradigma: (3.1) Design-para-Produção-Robótica (do inglês *Design-to-Robotic-Production*) e Processos de Operação e (3.2) Componentes de construção robótica.

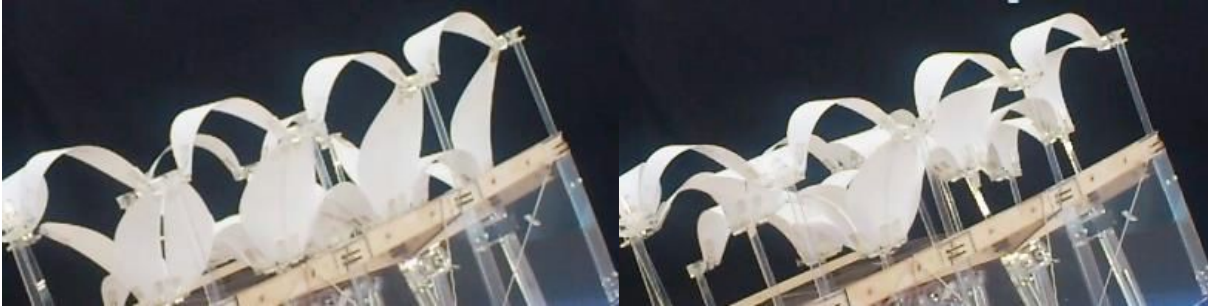


Figura 2: *Hyperbody* MSc 4 de projeto que apresenta componentes de construção interativos de cobertura utilizados para fins de ventilação.

3.1 DESIGN PARA PRODUÇÃO ROBÓTICA E PROCESSOS DE OPERAÇÃO

O processo de RB liga *design* e materialização através da integração de todas as funcionalidades (a partir da resistência estrutural, do isolamento térmico e do controle de temperatura) no *design* dos componentes de construção. Isto é implementado pelo emprego de novas estratégias multiperformativas de D2P: Novos materiais são desenvolvidos para a produção robótica de multi-materiais para componentes de construção e, novas produções robóticas e ferramentas de produção e montagem são implantadas para testar o projeto do futuro prédio. A principal consideração é que na arquitetura e construção de prédios a fabricação dos futuros materiais e componentes empregados podem ser roboticamente processados e montados. O processo RB emprega ciclos personalizados de D2P que incorporam propriedades dos materiais ao *design*, controlando numericamente todos os aspectos do D2P, e utiliza os princípios de *design* paramétrico que pode ser ligado com a produção robótica.

Este quadro explora o envolvimento de especialistas e usuários desafiando a lacuna produção-consumo, ligando modelos paramétricos com ferramentas de produção robotizadas, a fim de atingir uma produção eficiente de peças sob medida para uso personalizado.

Os primeiros experimentos como o *Scalable Porosity* e *Continuous Variation* focaram-se em diversos aspectos: (a) Produção robótica de estruturas porosas com material depositado apenas onde era necessário (<http://m4h.hyperbody.nl/index.php/Msc3G4:Group>) e (b) multi-tarefas e modos de técnicas robóticas permitindo o desenvolvimento de componentes híbridos constituídos de vários materiais.



Figura 3: Modelagem 3D e simulação estrutural para uma peça de mobiliário urbano desenvolvido por três estudantes de mestrado (*Hyperbody*, 2014).

3.2 COMPONENTES ROBÓTICOS DE CONSTRUÇÃO

O desenvolvimento de componentes de construção incorporando dispositivos robóticos garante reconfiguração espacial física ou sensorial que respondem e estendem as necessidades humanas. Experiências como *Multimodal Apartment* e *MyClimate* investigam o potencial de componentes de construção com robótica incorporada para a eficiência energética e do uso do espaço construído.

O experimento *Multimodal Apartment* (<http://multimod.hyperbody.nl>) provou, como no caso do *Pop-up Apartment*, que reconfiguração espacial pode otimizar 24/7 o uso do espaço construído, enquanto a investigação relacionada ao controle de temperatura mostrou que a integração de dispositivos de controle de clima interativos distribuídos em componentes de construção pode contribuir consideravelmente para a melhoria do clima interno e reduzir o consumo de energia.

MyClimate como indicado no *Climate-Skin* visa implementar e distribuir, componentes incorporados de construção, controle de temperatura inteligente, ao passo que o controle é realizado por rede sem fio e componentes climáticos que são conduzidos localmente pelas preferências dos usuários e pelas condições ambientais interior-exterior. Em tal contexto, componentes de controle de clima que se comunicam sem fios e de forma inteligente, não só entre si, mas, também com todos os outros componentes de construção, habitantes e ambiente interior-exterior, visam proporcionar climas internos saudáveis e assegurar uma utilização eficiente da energia. Enquanto as condições climáticas podem diferir dependendo das necessidades locais e das demandas adinvidas de espaços para espaços e de locais para locais, uma variedade de características climáticas é assegurada no quadro mais amplo de um edifício.

As duas vertentes de investigação complementam-se mutuamente, como espaços reconfiguráveis que requerem processos de D2P que permitam a modelagem, simulação e prototipagem de tal arquitetura.

Pesquisas em RB e atividades relacionadas ao ensino acadêmico informam-se mutuamente com o objetivo de explorar efeitos sinérgicos e valorizar os resultados da investigação e, por um lado introduzir novos métodos de *design-para-produção* (D2P) para futuros arquitetos e, por outro lado, envolver parceiros da indústria em projetos de pesquisa.

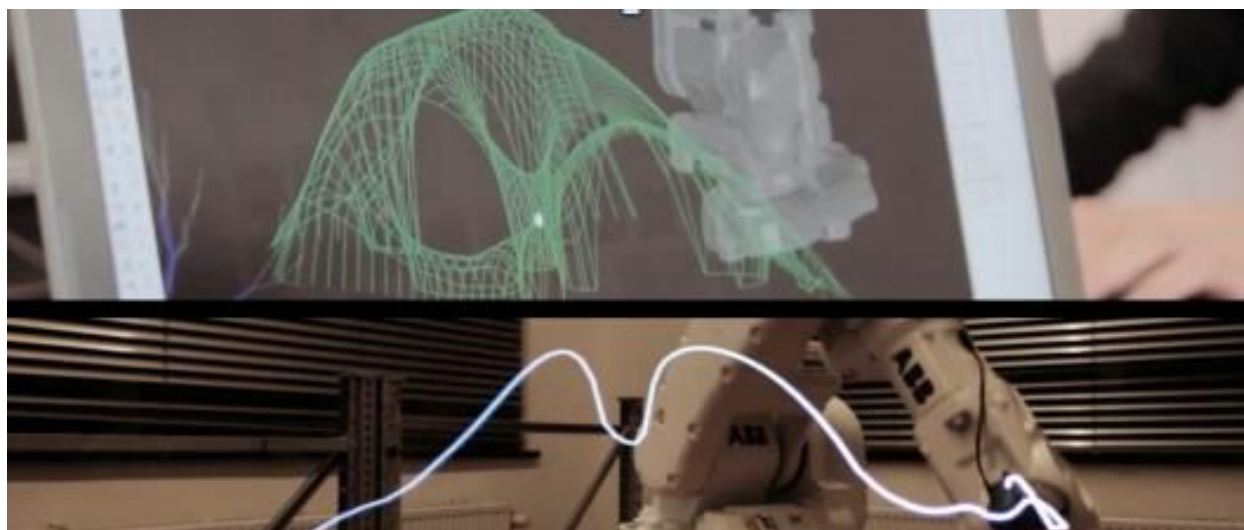


Figura 4: experiências robóticas de luz explorando caminhos de definição para o modelo 3D (*Hyperbody*, 2014).

4. EDUCAÇÃO

A pesquisa em RB é testada experimentalmente com alunos de mestrado com o objetivo de que os alunos desenvolvam conhecimentos, habilidades e competências em projeto arquitetônico satisfazendo os requisitos estéticos, técnicos e funcionais. Durante a trajetória do MSc 1-4 a complexidade do *design* arquitetônico aumenta e conduz ao nível exigido na prática arquitetônica contemporânea. RB apresenta aos alunos o impacto da 3ª e da 4ª Revoluções Industriais na arquitetura e à produção de conhecimento relacionada ao projeto arquitetônico, às ciências de materiais, à engenharia estrutural e à robótica. Além disso, competências são adquiridas para desenvolver uma compreensão do processo de concepção em relação ao contexto sócio-econômico e cultural com o objetivo de atender urgências sociais, como a rápida densificação urbana, a produção e utilização ineficiente do espaço físico construído, esgotamento dos materiais e poluição ambiental. Conhecimentos, habilidades e competências são adquiridas, não só no que diz respeito ao conteúdo, mas também, aos métodos de investigação, reflexão e *design*. Além disso, as competências são adquiridas para incorporar um entendimento para o processo de *design* que diz respeito à concepção estrutural, de materialização e controle climático.

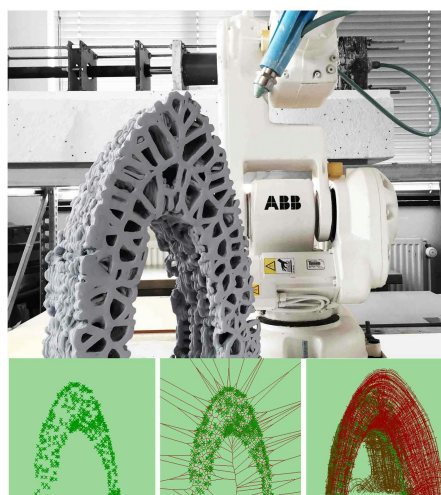


Figura 5: Fragmento de mobiliário urbano (escala 1: 1) estruturalmente otimizada e roboticamente impresso em 3D no *Hyperbody* (2015).

O trabalho intelectual (investigação, reflexão, interpretação) é implementado com o objetivo de integrar o conhecimento específico em RB para o campo mais amplo de experiência arquitetônica. A exposição a posições conflitantes até mesmo diferentes no discurso arquitetônico contemporâneo e aprendizagem baseada em problemas habilita os alunos a desenvolverem e utilizarem teorias, modelos e interpretações, exercerem raciocínio e formarem juízos críticos, levando em conta o contexto temporal e social. Ao estabelecerem uma forte relação entre teoria e prática os alunos compreendem a importância e as implicações de abordagens transdisciplinares na arquitetura.

5. OUTLOOK

O próximo passo é, por um lado consolidar os desenvolvimentos alcançados e, por outro lado expandir e avançar com a introdução de RB na educação e pesquisa on-line, pois representa uma plataforma alternativa importante para estudar e pesquisar, através da conexão virtual de estudantes, pesquisadores e educadores de todo o mundo. Além disso, RB tem como objetivo aprofundar investigações acerca do potencial de NC e processos de construção robóticos para alcançar a geração de materiais eficientes no que se refere a materiais rentáveis, de custo efetivo, produzidos pela demanda, construção personalizada de componentes e prédios. Em particular, dois aspectos serão explorados:

- (5.1) Construção robótica multi-material que permita a produção de estruturas otimizadas de formas livres, heterogêneas por adição e seleção de materiais a fim de atingir a porosidade / densidade, flexibilidade / rigidez, etc, específicas em conformidade com os requisitos formais, funcionais, estruturais, necessidades climáticas, ambientais e econômicas;
- (5.2) Produção Multi-robótica que implique que vários robôs operem simultaneamente ou em seqüência curta no processo de produção e montagem de componentes de construção multimaterial. Isso é necessário, a fim de, por exemplo, fibras de reforço de depósito ou material de isolamento granular, etc., em paralelo ao depósito de materiais à base de cimento, etc. 2015-20 esta investigação terá como objetivo para a implementação em múltiplas escalas (desde a construção de componente ao nível do edifício) com vários robôs, empregando uma abordagem transdisciplinar que está se conectando a pesquisa acadêmica não só com educação, mas também com a prática e está trazendo a produção edifício para o próximo nível.

AGRADECIMENTOS

Este artigo contou com a colaboração das equipes do *Hyperbody* e do *Robotic Building*. Os projetos do *Robotic Building* (RB) foram apoiados entre 2014-15 por 3TU, Delft Robotics Instituto (DRI), 100% Research, Ae&T, ABB e KUKA.

REFERÊNCIAS

- BIER, H.; KNIGHT, T. Digitally-driven architecture. **Footprint**, Delf Architecture Theory Journal, Delft, n. 6, 2010.
- BIER, H.; KNIGHT, T. Dynamics of data-driven design. **Footprint**, Delf Architecture Theory Journal, Delft, n. 15, 2014.
- BIER, H.; MOSTAFAVI, S. Robotic building as physically built robotic environments and robotically supported building processes. **Architecture and Interaction**, Berlim, 2015.
- BRÜNGLINGHAUS, C. **Die Evolution zur Industrie 4.0 in der Produktion** retrieved. Disponível em: <<http://www.springerprofessional.de/industrie-40-mehr-evolution-als-revolution/4650410.html>>. Acesso em: 5 mar. 2015.

V!RUS 11

É parametrização baby!

revista do nomads.usp | nomads.usp jornal
issn 2175-974x | CC BY-NC
www.nomads.usp.br/virus| vnomads@sc.usp.br

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industry 4.0 scenarios.** Disponível em: <<http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative industry 4.0:** Final report of the industry. 2013.

OOSTERHUIS, K.; BIER, H. **IA #5:** Robotics in architecture. Heijningen: Jap Sam Books, 2013.

WU, D.; ROSEN, D.W.; SCHAEFER, D. Cloud-Based Design and Manufacturing: Status and Promise. In: SCHAEFER, D. (Ed.). **Cloud-Based Design and Manufacturing: A Service-Oriented Product Development Paradigm for the 21st Century.** Londres: Springer, 2014, p. 1-2.