U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITETURA

Architectonic Middleware

Uma Metodologia Baseada em Precedências, da Intenção Projectual à Agência Distribuída

Gabriel Gonçalves Lima de Melo

M

2026

U.PORTO

Gabriel Melo. Architectonic Middleware

Architectonic Middleware

Uma Metodologia Baseada em Precedências, da Intenção Projectual à Agência Distribuída

Gabriel Gonçalves Lima de Melo

FACULDADE DE ARQUITETURA

M.FAUP **2026**

Architectonic Middleware

Uma Metodologia Baseada em Precedências, **da Intenção Projectual à Agência Distribuída**

Gabriel Gonçalves Lima de Melo
202201528

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura
apresentada à Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto
Sob orientação do Professor Doutor José Pedro de Sousa

2025/2026

Aos meus **pais** e meu **irmão** por todo amor e suporte

à minha **família**, **titios** e **titias** pela proteção e carinho

aos meus **amigos** por serem minha família em terras distantes

ao meu orientador **José Pedro** pela confiança e oportunidade

à **vovó Lia**, pelo cuidado e acolhimento

à **Iasmini** por tudo

Nada disso começa aqui. Nada disso é apenas meu.

Este ponto de chegada só existe porque foi construído sobre gerações de esforço, sobre dificuldades enfrentadas em silêncio e sobre a tornar o impossível uma possibilidade. Atravessamos juntos probabilidades, desafiamos estatísticas insistindo num caminho que, tantas vezes, pareceu improvável.

Através de um amor que não se anuncia, mas sustenta, nas pequenas alegrias, nas concessões visíveis e invisíveis e nos gestos que pareciam simples, mas carregavam mundos inteiros. Vocês foram os gigantes sobre cujos ombros pude enxergar para lá do Atlântico.

Há léguas a separar-nos e um oceano entre nós. Mas sabemos também que é através das batalhas que se vive a vida e que navegar é preciso. Se há algo de grandioso neste momento, é porque ele é maior do que eu.

Ele é de vocês.

Com todo o meu respeito, gratidão e reconhecimento.

Abstract

Contemporary architectural design is distributed across multiple participants, disciplinary domains and computational systems, expanding available capacities while making it more demanding to preserve continuity between objectives and operations. This dissertation addresses this condition through a methodological structure intended to coordinate distributed agency without predetermining situated design action.

The **Architectonic Middleware** is proposed as a methodology for relating design objectives and strategy to protocols, domains of transformation, levels of access and distributed agency. The term draws from computational ***middleware*** the function of mediation between heterogeneous systems, qualifying it as ***architectonic*** through its ordering function. The methodology is grounded in the **P/R/I Taxonomy,** developed in this research, which organises systems according to the precedence between Delimitation, Valuation and Formalisation. Rather than proposing a new platform, it provides a design-oriented reference for articulating existing mechanisms of interoperability, collaboration, parametric design and digital fabrication.

The methodology is confronted with the experimentation developed within **R2U Technologies**, involving cork, **Grasshopper**, **ShapeDiver** and a ***file-to-factory*** workflow. Its reconstruction makes explicit an Informational–Prescriptive–Relational precedence and the distribution of transformation capacities to non-specialist users within a structured domain. The research allows the coherence of the proposal to be discussed within this scope, leaving its prospective application in larger multidisciplinary processes to evaluate its performance under complex conditions of conflict and distributed agency.

Keywords: *Architectonic Middleware; P/R/I Taxonomy; Design Precedence; Distributed Agency; Project Systems; Protocols; Viability Contract; Parametric Configurators; Situated Action; Digital Fabrication.*

Resumo

O projecto arquitectónico contemporâneo distribui-se por múltiplos participantes, domínios disciplinares e sistemas computacionais, ampliando capacidades e tornando mais exigente preservar a continuidade entre objectivos e operações. A dissertação aborda esta condição através de uma estrutura metodológica destinada a coordenar agência distribuída sem predeterminar a acção projectual situada.

Propõe-se o **Architectonic Middleware** como metodologia para relacionar objectivos e estratégia projectual com protocolos, domínios de transformação, níveis de acesso e agência distribuída. A designação recupera do ***middleware*** informático a mediação entre sistemas heterogéneos, qualificando-a como ***architectonic*** pela sua função ordenadora. A metodologia assenta na **Taxonomia P/R/I,** desenvolvida na investigação, que organiza os sistemas segundo a precedência entre Delimitação, Valoração e Formalização. Não se propõe uma nova plataforma, mas uma referência projectual para articular mecanismos existentes de interoperabilidade, colaboração, projecto paramétrico e fabrico digital.

A metodologia é confrontada com a experimentação desenvolvida no **R2U Technologies**, envolvendo cortiça, **Grasshopper**, **ShapeDiver** e um fluxo ***file-to-factory***. A sua reconstrução explicita uma precedência Informacional–Prescritiva–Relacional e a distribuição de capacidades de transformação a utilizadores não especializados dentro de um domínio estruturado. A investigação permite discutir a coerência da proposta neste recorte, deixando para aplicação prospectiva em processos multidisciplinares de maior escala a avaliação perante condições mais complexas de conflito e agência distribuída.

Palavras chave : *Architectonic Middleware; Taxonomia P/R/I; Precedência Projectual; Agência Distribuída; Sistemas Projectuais; Protocolos; Contrato de Viabilidade; Configuradores Paramétricos; Acção Situada; Fabrico Digital.*

Apoio

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto **"R2U Technologies - Modular System"**, financiado pelo **PRR**, a financiar pela **União Europeia,** em curso na **Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP).**



01 **Introdução** pag. 01
- *Motivações; Objecto; Objectivos*
- *Enquadramento; Problemática; Estado da Arte*
- *Estratégia Metodológica*

02 **Genealogia** pag. 10
- *Pensamento Sistémico em Arquitectura*
- *Lógica Projetual*
  Acção Situada & Autoridade

03 **Organização** pag. 14
- *Modos de Organização Projectual*
- *Protocolos*
  Precedência Metodológica
  Protocolos Estruturantes
  Protocolos Transversais Livres
  Recorrência e Revisão
- *Sistemas*
  Sistemas Prescritivos
  Sistemas Relacionais
  Sistemas Informacionais

04 **Mediação** pag. 39
- *Architectonic Middleware*
- *Níveis de Acesso*
  Configuradores
  Contrato de Viabilidade

05 **Prática** pag. 46
- *Reconstrução Metodológica*
- *Condições & Precedência*
- *Sistema algorítmico*
  Exploração, Legitimação & Selecção
  Parametrização & Configuradores

06 **Conclusão** pag. 55
- *Síntese & Contributos*
- *Limites & Alcance da Investigação*
- *Desenvolvimentos Futuros*

Lista de Figuras

Fig. 1 *— FCDA. Organization of Multiagent Design Teams in a Federation Architecture* pag. 04
Fig. 2 *— Set-Based Design. Compatible Combinations of Beams and Columns.* pag. 05
Fig. 3 *— IFC. Interoperability benefits of the IFC schema.* pag. 06
Fig. 4 *— CBIM. System architecture of a CBIM environment.* pag. 07
Fig. 5 *— PIM. Building configuration algorithm and choice limitations.* pag. 08
Fig. 6 *— Parthenon. Decomposition into primary and secondary parts.* pag. 22
Fig. 7 *— Palladian Villas.Uniaxial villas and grammar-generated configurations..* pag. 25
Fig. 8 *— Malagueira. Potential universe of solutions in the Malagueira grammar.* pag. 26
Fig. 9 *— Form Finding. Frei Otto's branching-system method.* pag. 27
Fig. 10, 11 *— Waterloo International Terminal. Variable bowstring arches.* pag. 28
Fig. 12 *— Colònia Güell. Maqueta invertida de pesos e cordéis suspensos.* pag. 29
Fig. 13, 14 *— Gehry, Lewis Residence. Physical design model and CATIA geometrical frame.* pag. 30
Fig. 15 *— Metacity/Datatown. Waste Sector.* pag. 32
Fig. 16, 17 *— City Hall. Parametric pebble and sun illumination diagram.* pag. 33
Fig. 18 *— Parametrização e Instanciação. Definição paramétrica em Grasshopper.* pag. 34
Fig. 19 *— Encapsulamento e Exposição Operativa. Clusters em Grasshopper.* pag. 35
Fig. 20 *— Interoperabilidade IFC. IFC exchange between two applications* pag. 37
Fig. 21 *— Design Participation Model. Design system.* pag. 41
Fig. 22, 23, 24 *— Configuradores. Cell Cycle, Sake Set Creator and Thingiverse Customizer.* pag. 42
Fig. 25 *— ShapeDiver. Configurador paramétrico do projecto R2U Technologies.* pag. 42
Fig. 26 *— Limitação de montagem entre elementos.* pag. 44

01

Introdução

- *Enquadramento,*
  Problemática
  Estado da Arte

- *Estratégia Metodológica*

Introdução

Motivações

A presente investigação tem origem numa bolsa de investigação da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto integrada no projecto **R2U Technologies | modular system**, desenvolvido no âmbito do Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), financiado pela União Europeia através do NextGenerationEU. O projecto reúne um consórcio multidisciplinar de empresas e entidades do sistema científico e tecnológico, tendo como instituição proponente a Domingos da Silva Teixeira S.A. (DST) e integrando, entre outras entidades, a FAUP/U.Porto e a Amorim Cork Insulation, articulando investigação académica e desenvolvimento industrial em torno de sistemas de construção modular mediados por processos digitais.

Neste contexto, o trabalho incidiu sobre processos paramétricos aplicados ao fabrico digital de componentes arquitectónicos em cortiça, com particular atenção à inclusão de agentes não especializados na construção de instâncias a partir de conjuntos de possibilidades previamente delimitados e legitimados. O desenvolvimento de modelos em **Grasshopper**, a exposição selectiva de parâmetros através do configurador ***online*** **ShapeDiver** e a geração automática pelo utilizador final de informação destinada ao fabrico e à montagem evidenciaram as implicações dessa distribuição quando diferentes participantes intervêm sobre um mesmo processo a partir de conhecimentos, representações e capacidades distintas. A ampliação das possibilidades de intervenção explicitou também a necessidade de articular os parâmetros disponibilizados com decisões de projecto e requisitos materiais e produtivos, colocando uma questão mais ampla sobre as condições segundo as quais estas intervenções podem ser distribuídas sem perder a referência aos objectivos e à estratégia que lhes conferem coerência.

Embora esta problemática tenha emergido de uma aplicação específica e circunscrita, não é própria de processos orientados por **DfMA**[1] nem se restringe aos configuradores paramétricos. A crescente distribuição do projecto entre especialidades, modelos informacionais, aplicações, algoritmos, fabricantes e utilizadores coloca o problema de como capacidades distintas de intervenção podem permanecer articuladas por uma estratégia projectual comum quando distribuídas por diferentes agentes e perante os conflitos que dessa distribuição possam decorrer. É nesta passagem do caso particular para uma questão metodológica mais ampla que se estabelece a motivação da presente investigação.

Objecto

O objecto da presente investigação é a organização metodológica da agência distribuída no projecto arquitectónico, entendida como a possibilidade de diferentes participantes, humanos ou computacionais, intervirem sobre um mesmo processo através de operações, domínios e níveis de acesso diferenciados. Interessa compreender de que modo operações de concepção, avaliação, transformação, verificação e produção podem distribuir-se ao longo do processo mantendo-se relacionadas com os objectivos e com a estratégia que o orientam. O problema não incide, assim, apenas sobre a possibilidade técnica de interoperar informação ou disponibilizar capacidades de intervenção, mas sobre as relações de precedência segundo as quais essas operações podem ser organizadas, delimitadas e coordenadas, preservando a coerência global sem predeterminar a **acção situada**[2] nem restringir a capacidade criativa dos participantes.

A investigação concentra-se, por isso, na relação entre objectivos projectuais, precedência metodológica, operações e distribuição da agência, procurando explicitar aquilo que necessita de permanecer reconhecível quando decisões

1.
DfMA (Design for Manufacture and Assembly) designa uma abordagem de projecto que incorpora princípios e requisitos de produção e montagem nas fases iniciais do desenvolvimento, procurando antecipar condicionantes produtivas e reduzir problemas posteriores de fabrico e montagem (Bakhshi et al., 2022, pp. 2–3).

2.
A expressão é mobilizada a partir de Lucy Suchman para assinalar que planos e estruturas previamente estabelecidos podem orientar a acção sem determinar integralmente o seu curso. Suchman entende os planos como recursos para a acção, cuja concretização permanece dependente das circunstâncias particulares em que ocorre, e não como estruturas de controlo capazes de especificar antecipadamente a acção (Suchman, 2007, pp. 183–185).

e capacidades de transformação atravessam diferentes domínios. Esta delimitação não pressupõe a formalização integral do acto de projectar nem substitui conhecimentos especializados, protocolos de interoperabilidade ou ambientes computacionais, situando-se a montante dessas implementações e procurando orientar a sua articulação segundo a estratégia projectual. BIM, sistemas paramétricos, plataformas colaborativas, configuradores e processos de fabrico digital constituem possíveis contextos de aplicação, mas não definem isoladamente o objecto da investigação.

A designação **Architectonic Middleware**, mantida em inglês ao longo desta investigação, articula deliberadamente dois campos conceptuais. ***Middleware*** corresponde ao termo técnico utilizado no domínio computacional para identificar uma camada intermédia entre sistemas ou aplicações, enquanto ***Architectonic*** recupera o sentido atribuído por Kant à arquitectónica como organização sistemática do conhecimento, na qual a ideia do todo determina a posição das partes e as relações que estas estabelecem entre si. A expressão propõe, assim, a transposição deste princípio de intermediação para uma estrutura orientada pela lógica do projecto arquitectónico, preservando a especificidade técnica de ***middleware*** e aproximando ***architectonic*** do uso disciplinar corrente de arquitectónico.

Objectivos

O objectivo do presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma estrutura metodológica, baseada em protocolos e relações de precedência, capaz de articular os objectivos e requisitos projectuais com a distribuição das operações e dos níveis de acesso em processos **multiagente**[3]. Pretende-se estabelecer uma referência metodológica capaz de orientar essas intervenções perante situações de transformação, conflito ou revisão, preservando simultaneamente a contingência própria do desenvolvimento projectual. Para esse efeito, propõe-se a **Taxonomia P/R/I,** baseada na precedência entre os protocolos estruturantes de Delimitação, Valoração e Formalização, e, a partir desta, o **Architectonic Middleware** como camada metodológica de articulação entre estratégia, operações, domínios e agência distribuída. A experimentação prática desenvolvida no âmbito da configuração paramétrica e do fabrico digital, que decorreu em paralelo com a construção da metodologia, é posteriormente reconstruída através desta estrutura, permitindo relacionar a precedência explicitada com as capacidades disponibilizadas, as condições de viabilidade e a coordenação das intervenções ao longo do processo projectual.

3.
Nesta investigação, o termo multiagente é utilizado em sentido operativo amplo, abrangendo participantes humanos e sistemas computacionais que intervêm, executam ou medeiam operações projectuais. Não designa, portanto, exclusivamente sistemas multiagente autónomos no sentido estrito da Inteligência Artificial. Esta distinção entre especialistas humanos e agentes computacionais encontra um precedente operativo no FCDA de Khedro, Genesereth e Teicholz (1993, pp. 69–71).

Enquadramento, Estado da Arte & Problemática

Complexidade e Explicitação
(enquadramento)

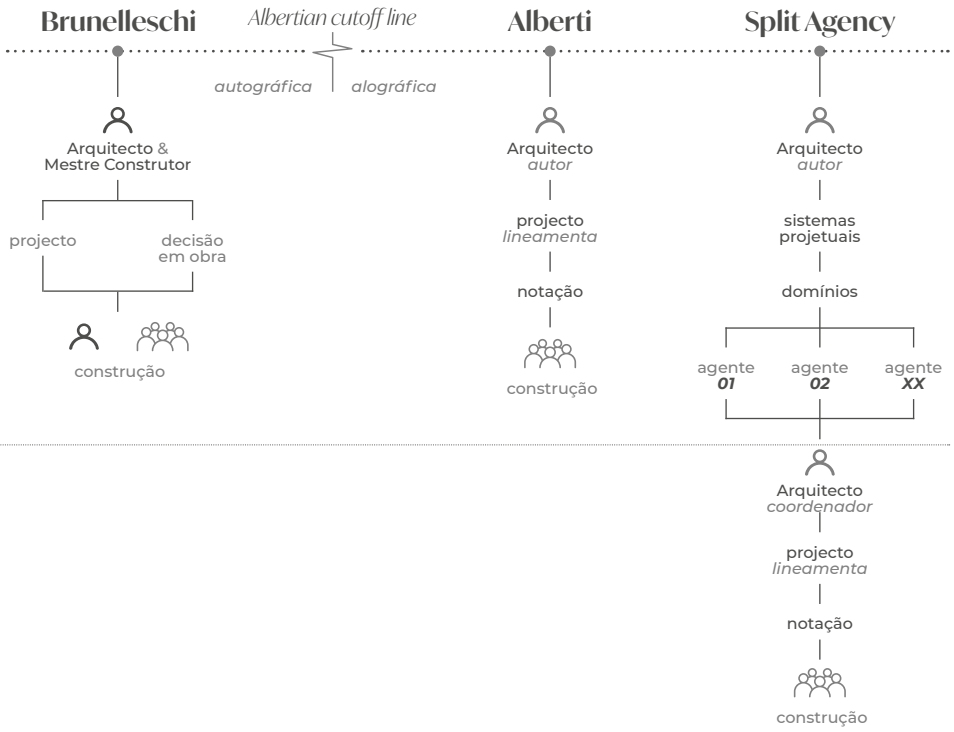
A prática arquitectónica contemporânea encontra-se progressivamente condicionada pela necessidade de articular condições programáticas, técnicas, ambientais, regulamentares, produtivas e económicas que incidem sobre diferentes momentos do projecto. Esta constatação não implica afirmar que os edifícios contemporâneos sejam, em termos absolutos, mais complexos do que os seus antecedentes, mas reconhecer a crescente especialização dos conhecimentos e instrumentos mobilizados na sua concepção, avaliação e realização. Parrish et al. (2007, pp. 213–214) relacionam esta especialização com a fragmentação do processo de projecto e produção, observando que a multiplicação de especialistas acompanha a diferenciação das capacidades mobilizadas na construção. Arquitectos, engenheiros, fabricantes e construtores intervêm, assim, sobre aspectos interdependentes a partir de competências próprias, distribuindo as decisões projectuais por diferentes participantes e sistemas. Sacks et al. (2022, pp. 1–2) situam esta condição na concepção multidisciplinar contemporânea, na qual diferentes especialidades colaboram recorrendo a tecnologias próprias para produzir, comunicar e armazenar informação.

Na medida em que as operações projectuais se distribuem por diferentes participantes e sistemas, reduz-se a margem decisória que pode permanecer implícita no conhecimento de um único agente. Quando concepção, avaliação e execução se encontram concentradas, parte dos critérios mobilizados

pode permanecer incorporada na experiência de quem concebe e ser ajustada durante a própria acção. A progressiva delegação e especialização dessas operações não elimina esta capacidade interna e contextual do projectista, mas exige que uma parte crescente das propriedades, relações e objectivos que orientam as decisões se torne explícita e reconhecível pelos restantes participantes, sobretudo quando atravessa fronteiras disciplinares, organizacionais ou computacionais.

Consequentemente, uma parcela significativa de dados e decisões tende a ser formalizada a montante, de forma a sustentar as operações autónomas de múltiplos participantes. Esta formalização pode assumir a forma de esquissos, desenhos rigorosos, textos, maquetes, modelos virtuais ou estruturas computacionais, sem depender de um suporte digital. Carpo permite reconhecer historicamente a sua progressiva antecipação perante a separação dos agentes envolvidos no projecto. Em Brunelleschi, parte decisiva do conhecimento projectual permanecia incorporada no autor, admitindo notações incompletas e mantendo forte dependência da sua presença durante a execução. Com Alberti, a separação alográfica entre concepção e construção passa a exigir uma notação transmissível capaz de gerar uma cópia exacta do projecto na ausência do arquitecto, embora ainda concentrada no final de um processo de concepção fortemente centralizado no autor. Na condição digital, mesmo em fases preliminares, ficheiros e notações computacionais podem ser executados e manipulados por agentes distintos daquele que os produziu, enquanto formas de ***split agency***[4] permitem a diferentes participantes intervir sobre uma estrutura projectual comum (Carpo, 2011, pp. 71–79, 123–127).

4.
Carpo utiliza a expressão split agency para descrever a divisão da autoria no projecto paramétrico entre o autor da estrutura generativa e o autor secundário que a instancia dentro das possibilidades por ela estabelecidas (Carpo, 2011, pp. 123–127). Nesta investigação, o termo é mobilizado neste sentido específico, não como equivalente à noção mais ampla de agência distribuída posteriormente desenvolvida.



Da autoria autográfica à split agency.
Síntese interpretativa a partir de Carpo (2011, pp. 15–21, 71–79, 123–127);

extensão aos sistemas projectuais, domínios e coordenação arquitectónica desenvolvida na presente investigação.

leitura própria da presente investigação

À luz desta crescente distribuição e interdependência, infere-se que, à medida que múltiplos agentes e especialidades intervêm sobre uma base projectual comum cada vez mais cedo, as propriedades, parâmetros e relações de que dependem essas intervenções precisam de ser explicitados antes das operações que os mobilizam. A formalização deixa de servir apenas à transmissão de um projecto estabilizado para a execução e passa também a sustentar a colaboração durante o seu desenvolvimento. Esta distribuição requer mecanismos de mediação capazes de transmitir, traduzir ou disponibilizar selectivamente informação e capacidades entre agentes e sistemas, aqui considerados entrepostos projectuais e desenvolvidos adiante através do conceito de **Architectonic Middleware.**

Interoperabilidade e Coordenação
(estado da arte)

Partindo do enquadramento delimitado, importa compreender de que modo a teoria e a prática contemporâneas têm respondido à mediação projectual em contexto de agência distribuída entre diferentes especialidades e sistemas. O presente estado da arte não corresponde nem pretende constituir-se como uma revisão sistemática ou exaustiva das tecnologias colaborativas existentes, mas como um recorte dirigido de referências cuja relevância se reconhece pela sua consolidação institucional e profissional ou pelo seu desenvolvimento e avaliação em contexto científico. Foram seleccionados, por um lado, mecanismos consolidados na prática da Arquitectura, Engenharia e Construção, institucionalmente normalizados e, por outro, modelos propositivos directamente relacionados com a coordenação de decisões interdependentes, a transmissão de informação entre domínios, a explicitação de restrições e conflitos, a manutenção de espaços de possibilidades e a mediação, através de entrepostos projectuais, das capacidades de intervenção entre diferentes agentes e sistemas. Interessa, assim, compreender de que modo estas respostas estabelecem mediações entre estruturas distintas e, nesse âmbito, como estes entrepostos transmitem, traduzem ou disponibilizam selectivamente informação e capacidades de intervenção.

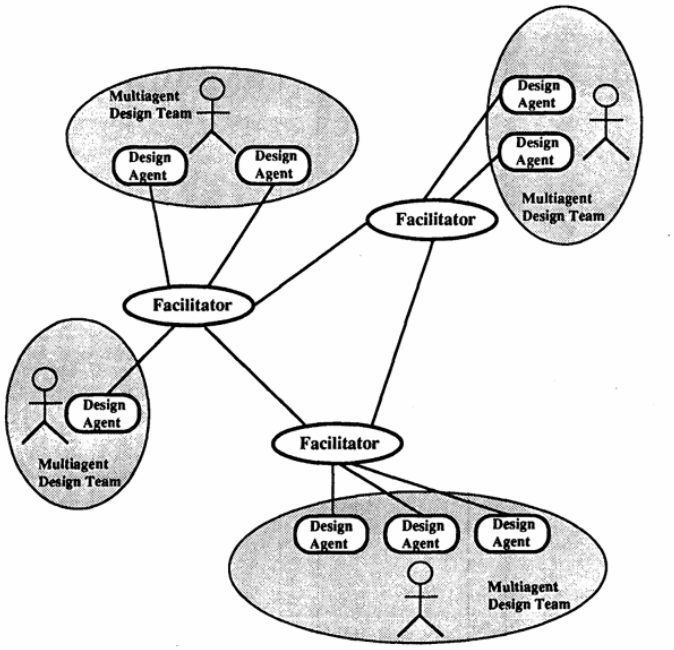
Abordando primeiramente as questões de coordenação, uma formulação basilar da coordenação distribuída encontra-se no ***Federation of Collaborative Design Agents*** (**FCDA**), proposto por Khedro, Genesereth e Teicholz. O modelo organiza especialistas e aplicações em equipas multiagente relativamente autónomas, nas quais cada especialista possui conhecimento parcial das condições consideradas pelos restantes e as decisões são desenvolvidas concorrentemente e comunicadas de forma incremental. A interacção entre estas equipas é mediada por ***Facilitators*** que, na perspectiva da presente investigação, podem ser compreendidos como uma forma de **entreposto projectual**[5] entre agentes heterogéneos, recebendo e encaminhando informação sem substituir a autonomia das equipas cuja interacção articulam. Quando decisões concorrentes entre diferentes equipas entram em conflito, o **FCDA** distingue ***hard constraints***, condições que não podem ser relaxadas, de ***soft constraints***, condições susceptíveis de negociação, e considera a autoridade atribuída a informações específicas de projecto na sua resolução (Khedro, Genesereth & Teicholz, 1993, pp. 67–76). O **FCDA** torna, desta maneira, explícito que a colaboração distribuída exige mais do que comunicação entre agentes, envolvendo mediação, restrições, detecção de conflitos, negociação e autoridade sobre decisões interdependentes.

5.
Os autores não utilizam a expressão "entreposto projectual". No FCDA, os Facilitators são programas que facilitam e coordenam a interacção entre design agents e a troca de informação entre equipas; a sua interpretação como entreposto projectual é própria da presente investigação (Khedro, Genesereth & Teicholz, 1993, p. 71).

fig. 1

FCDA.
Organization of Multiagent Design Teams in a Federation Architecture.

Fonte: Khedro, Genesereth & Teicholz (1993, p. 72, fig. 2).

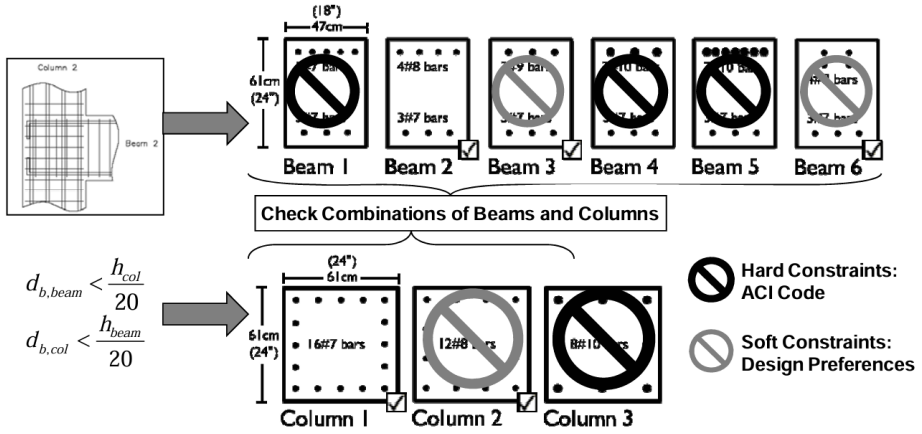


De forma complementar, o ***Set-Based Design*** aborda outra dimensão do problema ao substituir o compromisso precoce com uma solução única pela manutenção temporária de conjuntos de alternativas admissíveis. Com origem nas práticas de desenvolvimento de produto da Toyota e posteriormente sistematizado como ***Set-Based Concurrent Engineering***, o método é transposto por Parrish et al. para o contexto da arquitectura, engenharia e construção através de três princípios, mapear o espaço de projecto, integrar por intersecção e estabelecer a viabilidade antes do compromisso. No exemplo da ligação viga-pilar, o projectista estrutural, o empreiteiro geral, os responsáveis pela betonagem, o fabricante e o colocador de armaduras introduzem condições e preferências que reduzem progressivamente o espaço de soluções (Parrish et al., 2007, pp. 215–220). O método demonstra que a coordenação antecipada de múltiplos agentes não requer a determinação igualmente antecipada do resultado, mas a explicitação das condições segundo as quais as possibilidades permanecem admissíveis. Os autores reconhecem, contudo, que a sua aplicação depende de uma linguagem comum que permita aos participantes comunicar aquilo que consideram viável nos respectivos domínios (Parrish et al., 2007, p. 221).

fig. 2

Set-Based Design.
Compatible Combinations of Beams and Columns.

Fonte: Parrish et al. (2007, p. 220, fig. 6).



Paralelamente à formalização destes mecanismos de coordenação, uma segunda linha de desenvolvimento consolidou-se em torno da interoperabilidade da informação produzida e partilhada entre diferentes sistemas e agentes. A consolidação do **BIM** (***Building Information Modeling***) enquanto processo de produção e gestão de informação permitiu associar aos elementos do modelo não apenas geometria, mas também entidades, propriedades, relações e quantidades numa estrutura computável, tornando essa informação utilizável em operações de quantificação, estimativa, avaliação e coordenação. Eastman et al. descrevem, entre outros exemplos, a extracção de quantidades e propriedades para estimativa de custos e a utilização do modelo em coordenação tridimensional, revisão do projecto e análises especializadas. À medida que estas operações passaram a distribuir-se por aplicações especializadas, tornou-se igualmente necessário estabelecer formas de intercâmbio capazes de preservar o significado da informação entre estruturas proprietárias distintas. A interoperabilidade passa, neste contexto, a depender não apenas da transmissão dos dados, mas de uma estrutura comum através da qual estes possam ser reconhecidos e operados por diferentes sistemas.

A necessidade de tornar a informação reconhecível entre aplicações distintas encontra uma resposta no ***Industry Foundation Classes*** (**IFC**), desenvolvido pela **buildingSMART** e normalizado através da **ISO 16739**[6] como uma estrutura aberta para representar e partilhar informação do ambiente construído. Deste modo, em vez de limitar a troca à geometria, o esquema formaliza entidades, propriedades, quantidades e relações segundo uma estrutura comum, permitindo que diferentes aplicações reconheçam a informação transmitida independentemente das estruturas proprietárias em que foi produzida. A amplitude dessa estrutura exige, contudo, delimitar que parte da informação deve atravessar cada fluxo de intercâmbio. Para responder

6.
A ISO 16739:2013, Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, corresponde à primeira edição da norma internacional dedicada ao IFC e substitui a anterior ISO/PAS 16739:2005.

a diferentes requisitos de troca, as ***Model View Definitions*** (**MVD**) definem subconjuntos do esquema, enquanto a ***Information Delivery Specification*** (**IDS**) permite explicitar computacionalmente quais objectos, classificações, propriedades, valores e unidades devem ser entregues. A mediação não incide, assim, apenas sobre a compatibilidade entre aplicações, mas também sobre a delimitação da informação que deve ser disponibilizada em função de determinada troca. É nesta capacidade de estabelecer uma fronteira entre a informação disponível e aquela que é efectivamente transmitida que estes mecanismos participam da condição de entreposto projectual anteriormente definida. Ao fazê-lo, não estabelecem, por si mesmos, autoridade ou acesso ao projecto, mas tornam explícito aquilo que precisa de ser formalizado e transmitido para que outros sistemas e agentes possam posteriormente operar sobre essa informação.

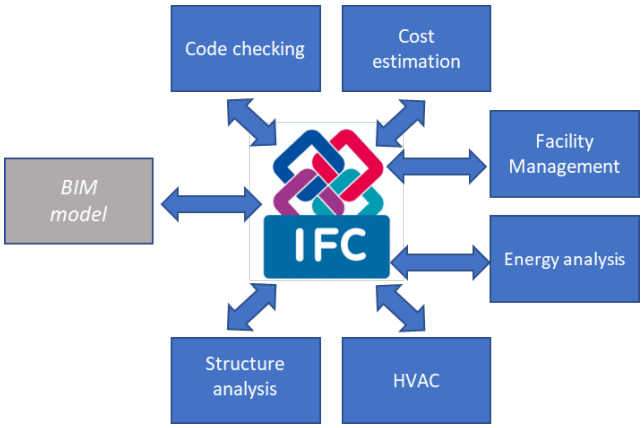


fig. 3

IFC.
An example of the interoperability benefits associated with the IFC schema.

Fonte: buildingSMART International, The importance of Industry Foundation Classes in Building Information Modelling, fig. 2. Disponível em: buildingsmart.org

Para além da definição das condições de intercâmbio, a interoperabilidade passou também a envolver a concentração e gestão continuada de informação proveniente de diferentes aplicações num ambiente comum. Eastman et al. descrevem ***building model repositories***[7] destinados a consultar, actualizar e gerir essa informação, incluindo controlo de versões e acompanhamento de alterações (2008, pp. 87–90). Ao reunir informação produzida separadamente sem substituir os respectivos ambientes de autoria, estes repositórios estabelecem uma condição explícita de entreposto projectual, posteriormente desenvolvida em ambientes de federação orientados para a comparação e coordenação de modelos disciplinares. Aplicações como Navisworks e Solibri permitem federar esses modelos e submetê-los a procedimentos de visualização, verificação e ***clash detection***[8], enquanto o **BIM *Collaboration Format*** (**BCF**)[9] permite comunicar ocorrências e referências entre aplicações sem retransmitir integralmente o modelo. A função de entreposto abrange, assim, diferentes formas de mediação da informação entre especialidades, preservando os ambientes próprios em que os respectivos modelos são produzidos e transformados.

Apesar destes avanços, a federação e coordenação da informação não resolvem integralmente as relações de dependência entre modelos disciplinares. Sacks et al. identificam insuficiente conteúdo semântico para representar adequadamente ***design intent***[10], manutenção manual da consistência entre modelos, gestão problemática das variantes através de ficheiros e interoperabilidade incompleta entre aplicações (2022, pp. 1–2). Como resposta, propõem o **Cloud BIM** (**CBIM**), no qual modelos disciplinares são armazenados em ***knowledge graphs***[11] e articulados por uma ontologia destinada a explicitar relações entre objectos e especialidades. O enriquecimento semântico possibilita detectar inconsistências, informar os participantes, propor correcções e aplicá-las quando aprovadas, deslocando a coordenação da simples comparação entre modelos para a representação computável de parte das relações que sustentam a sua consistência. O **CBIM** amplia a função do entreposto ao incorporar essas relações e dependências na mediação entre domínios, embora permaneça um paradigma em desenvolvimento e não uma infraestrutura de aplicação generalizada (Sacks et al., 2022).

7.
Building model repository designa, em Eastman et al., um sistema de base de dados assente num esquema orientado a objectos, destinado a integrar e gerir informação de modelos provenientes de aplicações distintas. Ao contrário de sistemas de gestão baseados apenas em ficheiros, permite consultar, transferir, actualizar e gerir objectos individuais do projecto (Eastman et al., 2008, pp. 88–89).

8.
Clash detection designa a detecção de incompatibilidades entre elementos de modelos distintos. Em processos BIM, esta verificação pode identificar automaticamente conflitos geométricos directos (hard clashes) e situações em que a proximidade entre elementos não assegura o espaço necessário para acesso, isolamento ou outras condições (soft clashes) (Eastman et al., 2008, p. 216).

9.
Eastman et al. (2008, p. 218) descrevem Navisworks e Solibri como ferramentas de integração capazes de reunir modelos provenientes de diferentes aplicações e efectuar clash detection. O BCF, posteriormente desenvolvido e normalizado pela buildingSMART, permite comunicar ocorrências entre aplicações através de informação referenciada ao modelo, sem exigir a retransmissão integral deste.

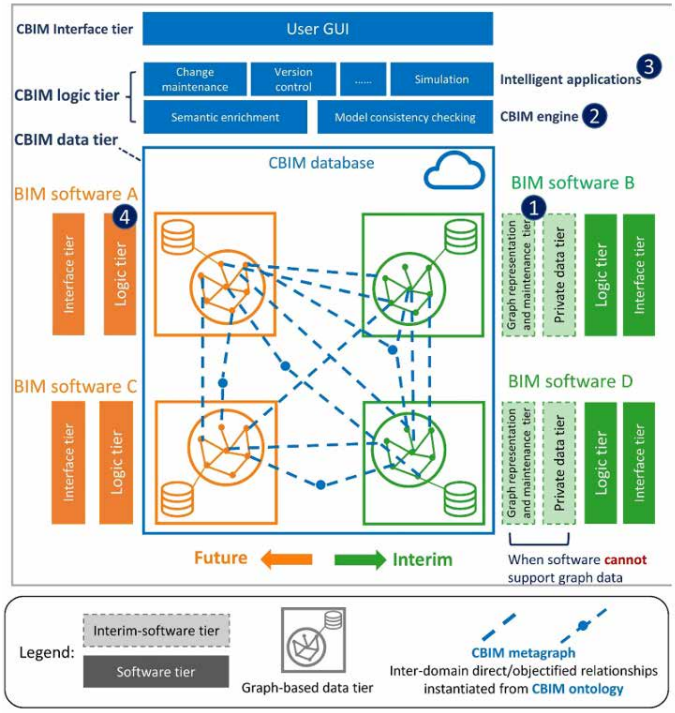
10.
Em Sacks et al. (2022), design intent refere-se à informação semântica que explicita relações, restrições e comportamentos pretendidos entre objectos do modelo, permitindo que essas relações sejam computacionalmente reconhecidas e mantidas. O termo é conservado no original para o distinguir da noção mais ampla de intenção projectual adoptada nesta investigação.

11.
No CBIM proposto por Sacks et al. (2022), os knowledge graphs constituem a estrutura em que os modelos disciplinares e os respectivos esquemas de dados são armazenados e relacionados através de objectos e relações definidos pela ontologia CBIM. Esta organização permite explicitar computacionalmente relações entre objectos e entre diferentes domínios disciplinares.

fig. 4

CBIM.
Enriquecimento semântico BIM
The system architecture of a CBIM environment.

Fonte: Sacks et al. (2022, p. 9, fig. 8).



12.
No contexto considerado por Castro e Costa et al. (2020), mass customization designa processos em que configuradores computacionais permitem aos utilizadores finais personalizar produtos segundo as suas necessidades e preferências, explorando um espaço de soluções previamente estruturado.

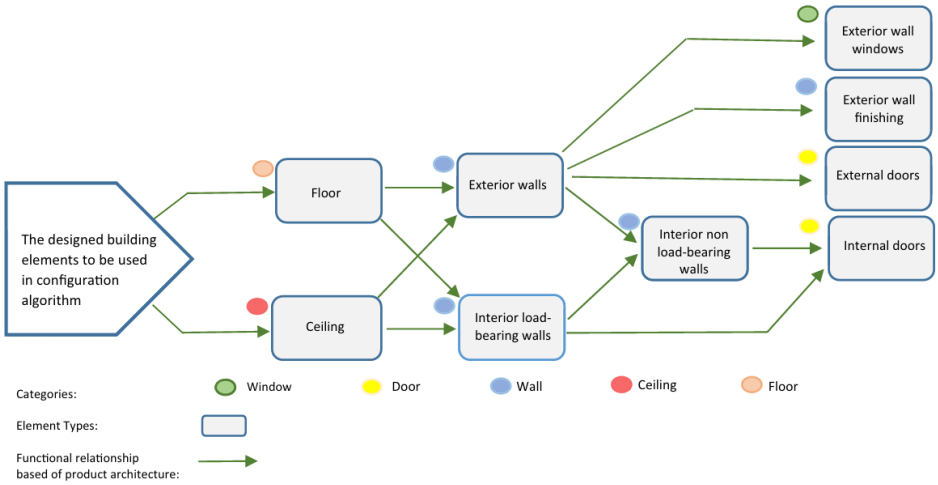
A mediação entre agentes e sistemas adquire, porém, uma dimensão distinta quando, para além da informação, passam a ser distribuídas capacidades de transformação do próprio projecto. Recentes avanços no campo da ***mass customization***[11] tornam esta condição particularmente relevante para a presente investigação, através de configuradores computacionais que permitem a participação de utilizadores sobre espaços de possibilidades previamente estruturados. Estes configuradores estabelecem uma mediação entre a estrutura generativa e os agentes que sobre ela intervêm, não apenas transmitindo informação, mas disponibilizando selectivamente determinadas capacidades de transformação sem expor integralmente a estrutura que as produz. Castro e Costa et al. distinguem configuradores combinatórios, baseados na selecção entre elementos previamente definidos, e configuradores paramétricos, nos quais o utilizador intervém sobre um espaço contínuo de variação. Entre estes últimos, identificam configuradores específicos e genéricos, apresentando o **ShapeDiver** e o **Thingiverse Customizer** como exemplos de configuradores paramétricos genéricos capazes de operar sobre diferentes modelos paramétricos. Esta assimetria é desenvolvida pelos autores através do ***Design Participation Model***, no qual o projectista estrutura e delimita o espaço de soluções através do ***Modeler***, enquanto o utilizador não especialista explora posteriormente as possibilidades disponibilizadas através do ***Navigator***, sem acesso equivalente à estrutura que as produz (Castro e Costa et al., 2020).

Esta separação entre a estruturação do domínio e as capacidades posteriormente disponibilizadas adquire uma dimensão produtiva em Bakhshi et al., que integram **BIM**, **DfMA** e customização em processos de construção ***offsite***. A proposta relaciona informação de produção, construção e customização reunida num ***Prefabrication Information Model*** (**PIM**) com um modelo **BIM** através de um algoritmo desenvolvido em **Revit** e **Dynamo**. Relações funcionais, físicas e condições de montagem limitam automaticamente as opções disponibilizadas ao cliente, fazendo com que a interface de configuração funcione como entreposto entre as capacidades de transformação acessíveis ao utilizador e as condições técnicas incorporadas no sistema. Após a escolha, novas verificações **DfMA** antecedem a disponibilização da informação às etapas de produção e construção. A proposta demonstra, assim, como condições previamente formalizadas podem delimitar as capacidades de transformação disponibilizadas a outro participante, embora os autores reconheçam que o protótipo permanece dependente de validação mais ampla em casos reais (Bakhshi et al., 2022, pp. 10–12).

fig. 5

PIM.
Prefabrication Information Model
The concept of building configuration algorithm and choice limitations.

Fonte: Bakhshi et al. (2022, p. 11, fig. 9).



Consideradas em conjunto, as referências analisadas evidenciam três dimensões complementares já substancialmente desenvolvidas. **FCDA** e ***Set-Based Design*** demonstram mecanismos para coordenar decisões, restrições, conflitos e espaços de possibilidades entre diferentes participantes. **BIM, IFC** e **CBIM** formalizam, transmitem, verificam e progressivamente relacionam informação produzida em diferentes domínios. Os configuradores paramétricos e abordagens associadas à customização demonstram, por sua vez, que também capacidades de transformação podem ser selectivamente disponibilizadas e condicionadas por critérios previamente incorporados. O estado da arte revela, assim, mecanismos consolidados ou experimentalmente demonstrados para coordenar agentes, mediar informação entre sistemas, gerir restrições e conflitos, delimitar possibilidades e distribuir capacidades de intervenção.

Problemática
(lacuna)

Apesar da amplitude dos mecanismos operacionais desenvolvidos e em evolução para mediar informação, coordenar agentes e interoperar diferentes sistemas, permanece o problema de relacionar essas capacidades distribuídas com os objectivos e a estratégia que orientam o projecto. A crescente participação de especialidades, aplicações, agentes computacionais e mesmo agentes não especialistas amplia as possibilidades de intervenção, tornando igualmente necessário preservar uma referência comum às decisões que estruturam o seu desenvolvimento. Neste contexto, o arquitecto mantém uma função de articulação entre diferentes conhecimentos e requisitos, coordenando contributos especializados segundo uma estratégia capaz de preservar a coerência global do projecto.

Contudo, parte significativa dos critérios, prioridades e relações através dos quais exerce essa coordenação pode permanecer implícita no próprio processo de concepção, sem uma estrutura organizada e explicitada desde o início do projecto. À medida que aumentam as operações distribuídas, aumenta igualmente a necessidade de comunicar, formalizar e negociar essas prioridades, sobretudo quando requisitos ou decisões entram em conflito. No recorte analisado, não foi identificada uma estrutura metodológica capaz de auxiliar o arquitecto a explicitar, a partir dos objectivos, requisitos e estratégia projectual, relações de precedência que orientem essa coordenação. A lacuna não reside, assim, na ausência de mecanismos de mediação ou interoperabilidade, mas na articulação entre aquilo que é transmitido, transformado ou disponibilizado através dos entrepostos projectuais e as condições que devem orientar essas operações. A investigação concentra-se, por isso, nas relações estabelecidas através desses entrepostos, sem pretender formalizar os conhecimentos ou procedimentos internos de cada especialidade.

A problemática situa-se na preservação da continuidade entre objectivos, estratégia e operações distribuídas quando diferentes agentes e sistemas intervêm sobre domínios distintos sem partilharem necessariamente o mesmo conhecimento, capacidade de transformação ou autoridade. No recorte analisado, também não foi identificada uma taxonomia que classifique a organização projectual segundo relações de precedência entre as operações que a estruturam. Propõe-se uma taxonomia de sistemas projectuais baseada na hierarquia entre protocolos, estabelecendo precedências capazes de orientar a sequência das operações sem predeterminar a acção situada perante contingências e fornecendo uma referência para delimitar capacidades, avaliar incompatibilidades e rever, quando necessário, as condições estabelecidas. É a partir desta lacuna que se desenvolvem a **Taxonomia P/R/I** e, sobre ela, o **Architectonic Middleware** como estrutura destinada a manter operativa essa referência perante a distribuição da agência.

Estratégia Metodológica

R2U

Contexto Empírico

Fabrico digital DfMA em componentes de cortiça

Estado da Arte

Configuradores paramétricos

Viabilidade material e produtiva

Agência distribuída

Coordenação entre agentes

Níveis de acesso

Entrepostos projectuais

Coerência entre intervenções

Interoperabilidade entre sistemas

Estratégias projetuais

Gestão de conflitos projetuais

Genealogia

Lacuna

Classificação Operativa sistemas e protocolos

Contribuição

Metodologia P-R-I

Sistemas por Protocolos

Prescritivo *(Delimitação)*

Relacional *(Valoração)*

Informacional *(Formalização)*

Architetonic Middleware

Fundamentação, Construção e Aplicação

A estratégia metodológica da investigação decorre do próprio percurso que conduziu à formulação da problemática identificada. A participação no projecto **R2U Technologies** e o desenvolvimento de processos paramétricos associados à customização e ao fabrico digital expuseram a investigação a configuradores paramétricos através dos quais agentes não especializados podem intervir sobre estruturas projectuais previamente definidas. A partir desta condição de projectar sistemas em vez de entidades únicas em meio digital, procurou-se investigar em que medida a arquitectura computacional introduz uma ruptura ou pode ser compreendida em continuidade com processos anteriores de sistematização, explicitação e formalização próprios da prática arquitectónica. Este percurso conduziu à construção de uma genealogia do pensamento sistémico em Arquitectura e à necessidade de distinguir os sistemas projectuais não apenas segundo períodos, tecnologias ou instrumentos, mas segundo a organização metodológica e as relações de precedência entre as operações que estruturam as respectivas estratégias.

A partir desta fundamentação, desenvolve-se a **Taxonomia P/R/I** como instrumento próprio de análise e organização projectual, através da identificação dos protocolos estruturantes de Delimitação, Valoração e Formalização e das relações de precedência que estabelecem em função dos objectivos e da estratégia do projecto. A classificação resultante permite interpretar diferentes sistemas segundo a operação que assume prioridade metodológica, independentemente da tecnologia através da qual é executada. Sobre esta estrutura desenvolve-se o **Architectonic Middleware,** destinado a manter operativa essa precedência quando operações e capacidades de transformação se distribuem por diferentes agentes, sistemas e entrepostos projectuais.

A metodologia é, por fim, examinada em dois níveis complementares. Os projectos, sistemas e processos existentes mobilizados ao longo da investigação permitem confrontar a capacidade interpretativa da taxonomia perante diferentes formas de organização projectual, enquanto a experimentação prática é retrospectivamente reconstruída através da metodologia proposta, permitindo discutir a sua aplicação num contexto projectual concreto. Neste último, a configuração paramétrica e o fabrico digital de componentes em cortiça permitem relacionar a precedência posteriormente explicitada com os domínios de transformação, as capacidades disponibilizadas e as condições de viabilidade distribuídas entre **Grasshopper, ShapeDiver,** utilizador e produção, tornando observável a relação entre objectivos, estratégia e operações distribuídas.

02

Pensamento Sistémico em Arquitectura

- *Método e Limites da Formalização*
- *Lógica Projectual*

Acção Situada & Autoridade

Genealogia

Pensamento Sistémico em Arquitectura

A determinação de um momento inaugural do fazer arquitectónico depende do enquadramento epistemológico adoptado. Mais do que procurar uma origem absoluta, interessa compreender como diferentes concepções do fazer arquitectónico contribuíram para uma disciplina progressivamente orientada pela organização de princípios, regras, relações e processos.

Para os propósitos desta investigação, interessa particularmente a tradição arquitectónica compreendida enquanto corpo de conhecimento susceptível de organização sistemática. Esta perspectiva não exclui a dimensão cultural, simbólica ou fenomenológica da arquitectura, nem pressupõe que o acto de projectar possa ser integralmente reduzido a procedimentos formalizados. Delimita, antes, o domínio da investigação àquilo que, no processo projectual, pode ser explicitado, organizado e transmitido através de princípios, métodos e sistemas.

No que diz respeito à tradição sistemática em arquitectura, esta tendência manifesta-se muito antes da computação digital. A abstracção de princípios formais, a codificação do conhecimento disciplinar, os sistemas de representação e a racionalização dos processos de concepção e produção permitiram que determinadas decisões deixassem de depender exclusivamente da resolução circunstancial de uma instância, tornando-se transmissíveis e aplicáveis a diferentes situações. A formação tipológica constitui uma manifestação deste processo. Argan compreende o tipo como uma estrutura resultante da redução de diferentes variantes formais a um esquema comum, capaz de admitir diferentes concretizações sem determinar integralmente a configuração resultante (Argan, 1963, pp. 243–244). A formalização e a computabilidade de determinados procedimentos não constituem, por isso, propriedades exclusivas da computação digital.

A possibilidade de estabilizar e transmitir decisões relaciona-se igualmente com a progressiva separação entre concepção e execução. Carpo identifica na tradição albertiana a consolidação de uma condição alográfica, na qual determinadas decisões podem ser antecipadas e preservadas através de uma notação capaz de orientar a execução por terceiros. A sistematização do projecto não corresponde, neste sentido, apenas à organização de princípios formais, mas também à possibilidade de os representar e transmitir de modo suficientemente preciso para que permaneçam operáveis para além da intervenção directa daquele que os concebe (Carpo, 2011, pp. 22–24, 71–79).

Esta antecipação permanece, todavia, condicionada pelas possibilidades da sua realização. Mitchell distingue o ***design world***[1], no qual as entidades do projecto são representadas e manipuladas, do ***construction world***[2], correspondente às condições de possível realização do projecto. A viabilidade de uma configuração depende, portanto, não apenas da sua possibilidade formal, mas das condições materiais, técnicas e produtivas relativamente às quais é concebida (Mitchell, 1990, pp. 65–69). Reconhecimento, abstracção, antecipação e consideração das condições de realização constituem, assim, operações anteriores à computação digital.

Contudo, a computação transforma as condições da sua operatividade. Relações anteriormente descritas, calculadas ou executadas por projectistas passam a poder ser processadas, iteradas e actualizadas computacionalmente, ampliando a quantidade de informação, o número de alternativas e a complexidade das dependências operáveis ao longo do projecto. A especificidade do digital situa-se, assim, menos na origem do pensamento sistemático do que na escala, velocidade e automatização com que estruturas formalizadas podem ser executadas e transformadas.

1.
Mitchell define o design world como o domínio representacional no qual o projecto é descrito e manipulado através de shape tokens pertencentes a um determinado vocabulário gráfico. As entidades e relações representadas neste domínio remetem, através de convenções de representação, para estados possíveis do construction world (Mitchell, 1990, pp. 63–69, 108).

2.
Mitchell define o construction world como o domínio que reúne os objectos, propriedades, funções, relações e condições relevantes para a possível realização do projecto. Este domínio é constituído por elementos de um vocabulário arquitectónico, relacionados com os shape tokens do design world através de convenções de representação (Mitchell, 1990, pp. 65–69, 108).

"If we can specify an initial state of a design world, plus a set of operators characterized in this way, we have established the state-action tree for that world. Its branches are all the branches that can be constructed by recursive application of the set of operators to the initial state."

(Mitchell, 1990, p. 112)

É nesta acepção que a investigação compreende a relação entre computação e projecto. Ao tornar determinadas relações formalmente operáveis, o computador permite produzir, comparar e actualizar conjuntos de alternativas dificilmente manejáveis por meios exclusivamente manuais. A simulação e iteração de múltiplas configurações podem, deste modo, alterar a exploração do espaço de soluções, permitindo adiar, rever ou condicionar decisões pela avaliação de estados sucessivos do projecto.

Esta ampliação operacional não implica, contudo, que a execução computacional de uma operação corresponda à definição dos objectivos, critérios ou condições que lhe conferem pertinência projectual. Do mesmo modo, a capacidade de um sistema produzir, transformar ou seleccionar informação não lhe transfere automaticamente autoria, responsabilidade ou autoridade sobre as decisões tomadas. A distinção entre capacidade operacional e autoridade projectual torna-se, por isso, fundamental para compreender a posterior distribuição da **agência**[3] entre participantes humanos e sistemas computacionais.

"Choices among possible responses might be made mechanically, but this is not characteristic of skilled human designers. Critical reflection on the entailments of possible responses normally lies at the heart of architectural design processes."

(Mitchell, 1990, p. 238)

Partindo desta distinção, o capítulo confronta a organização sistemática e a crescente capacidade de formalização do projecto com a sua complexidade e distribuição entre diferentes participantes, discutindo simultaneamente a pertinência das estruturas metodológicas e os limites da sua capacidade de determinar a acção projectual.

3.
Nesta investigação, a atribuição de agência a sistemas computacionais refere-se à sua capacidade de produzir efeitos sobre o processo projectual. Não implica, por si só, intenção, responsabilidade ou autoridade, dimensões tratadas separadamente.

2.1 Lógica Projectual

Acção Situada e Autoridade

A sistematização do projecto não implica que o processo arquitectónico possa ser integralmente antecipado ou reduzido às estruturas que o organizam. À medida que aumentam as variáveis consideradas, as relações entre especialidades e as condições técnicas, materiais e informacionais envolvidas, aumenta também a dificuldade de compreender isoladamente as consequências de cada decisão. A pertinência do método reside, neste contexto, menos na determinação antecipada de uma solução do que na capacidade de explicitar objectivos, organizar acções e participantes e comparar alternativas ao longo do processo.

Esta condição encontra correspondência na própria formulação de Mitchell, apesar do carácter fortemente formal do modelo desenvolvido em ***The Logic of Architecture***. Ao descrever o projecto enquanto computação num ***design world***, Mitchell admite a formalização de vocabulários, operações e regras capazes de estruturar um campo de soluções, sem identificar essas regras com uma determinação mecânica das decisões. As situações reconhecidas durante o projecto podem surgir de formas inesperadas, enquanto as regras especificam respostas conhecidas sem excluir outras possibilidades. A escolha poderia ser realizada mecanicamente, mas, segundo Mitchell, tal procedimento não caracteriza a actividade de projectistas experientes, para os quais a reflexão crítica sobre as consequências das alternativas permanece central (Mitchell, 1990, pp. 237–238).

O método pode, assim, delimitar um campo de possibilidades sem determinar integralmente o percurso realizado no seu interior. As próprias regras não permanecem necessariamente invariáveis, uma vez que Mitchell as descreve como dependentes dos contextos da sua aplicação e reconhece que os projectistas simultaneamente as aplicam e constroem (Mitchell, 1990, p. 237). A estrutura metodológica pode, portanto, ser revista perante condicionantes que obriguem a reconsiderar os objectivos previamente definidos, sem que a metodologia reordenada perca a sua função orientadora.

Tal distinção pode ser aprofundada através do conceito de acção situada desenvolvido por Lucy Suchman, que questiona a ideia de que um plano possa determinar antecipadamente o desenvolvimento da acção. Isto não significa que os planos sejam dispensáveis ou ineficazes. Para Suchman, estes permitem organizar intenções, antecipar determinadas condições e orientar aquilo que se pretende fazer, mas não constituem uma descrição completa das acções que serão efectivamente necessárias para atingir esse objectivo. Durante a sua realização surgem circunstâncias singulares que não foram, ou não poderiam ser, integralmente previstas, exigindo que os participantes interpretem a situação e ajustem as suas acções em função das condições encontradas. A acção resulta, portanto, da relação entre aquilo que foi previamente planeado e as circunstâncias materiais e sociais em que esse plano é concretizado, não sendo inteiramente predeterminada, embora também não seja aleatória (Suchman, 2007, pp. 176–177).

Esta relação entre plano e circunstância estabelece uma diferenciação importante para a presente investigação entre estruturação e determinação. Um método pode organizar objectivos, operações, relações e restrições sem descrever exaustivamente as acções e as suas consequências, assim como a formalização de um domínio de possibilidades não implica antecipar todas as configurações que nele podem ocorrer. Suchman observa que representações abstractas orientam ou posicionam a acção, enquanto as interacções locais permanecem parcialmente exteriores ao âmbito do plano (Suchman, 2007, pp. 185–186). Algumas decisões continuam, portanto, dependentes das condições encontradas e a exigir interpretação, avaliação e juízo.

A ausência de uma estrutura explicitamente formalizada não significa, por outro lado, ausência de método. Um projectista pode organizar decisões segundo critérios, relações e prioridades que permanecem parcialmente implícitos durante o processo, sobretudo quando é ele próprio quem interpreta e aplica esses critérios. O problema altera-se quando diferentes participantes intervêm sobre decisões interdependentes, tornando necessário explicitar parte das condições anteriormente interpretadas por um único projectista. A formalização adquire então, para além da organização do processo, a função de comunicar objectivos, relações, restrições e condições de intervenção.

Esta passagem torna-se relevante na transição entre processos predominantemente cooperativos e processos colaborativos. Para os propósitos desta investigação, entende-se por cooperação uma organização na qual diferentes participantes podem executar tarefas para um objectivo comum, mantendo-se a estrutura principal das decisões relativamente centralizada. A colaboração implica uma condição distinta, na qual diferentes participantes não apenas executam tarefas, mas intervêm também sobre decisões que afectam o desenvolvimento do projecto. Esta distribuição não pressupõe igual autoridade entre todos, mas exige compatibilizar a autonomia de cada participante com as decisões dos restantes. Este problema é já discutido no ***Framework for Collaborative Distributed Multidisciplinary Design*** (**FCDA**), no qual diferentes especialistas trabalham concorrentemente, tomam decisões autónomas e possuem apenas um conhecimento parcial das condições consideradas pelos restantes. Como estas decisões incidem sobre partes interdependentes do projecto, alterações produzidas por uma equipa podem afectar as soluções de outras, exigindo troca contínua de informação e compatibilização das decisões. A colaboração acrescenta, assim, à distribuição de tarefas a necessidade de preservar a autonomia de cada especialidade e explicitar as condições que permitem coordenar as suas decisões (Khedro, Genesereth & Teicholz, 1993, pp. 67–70).

Neste contexto, a formalização ultrapassa a função de apenas transmitir informação. Quando diferentes participantes podem transformar partes relacionadas de um mesmo projecto, torna-se necessário explicitar as condições segundo as quais essas transformações são admissíveis e a precedência decisória perante conflitos. A questão deixa de ser apenas o que cada participante precisa de saber e passa a incluir o que pode alterar, dentro de que limites e sob que legitimidade.

Perante sistemas computacionais, a execução automática de procedimentos pode sugerir uma equivalência entre formalizar uma regra e determinar a decisão que dela resulta. Suchman observa que as operações de uma máquina dependem de condições previamente estipuladas e que a sua capacidade de interagir permanece limitada pelo que os seus projectistas conseguem antecipar e delimitar (Suchman, 2007, p. 186). Embora formulada perante sistemas distintos dos actuais, permanece pertinente a distinção entre capacidade para executar uma operação e autoridade para legitimar as suas consequências no projecto.

O método não deve ser entendido como oposição à liberdade ou à criatividade projectual. A sua função é estruturar acções em função dos objectivos definidos sem exigir que todas as decisões sejam antecipadas ou automatizadas. Em processos multidisciplinares, permite explicitar operações, dependências e condições de decisão necessárias à colaboração. O limite adoptado nesta investigação situa-se precisamente aqui. Formalizar aquilo que precisa de ser explicitado para que uma decisão possa ser operada, partilhada ou avaliada não equivale a formalizar o acto de projectar na sua totalidade.

O pensamento sistémico desenvolvido neste capítulo estabelece simultaneamente a possibilidade e o limite da abordagem proposta. A abstracção e organização de condições operativas antecedem a computação digital, enquanto a complexidade e a acção situada impedem que a formalização seja confundida com a determinação integral do processo. Os sistemas e protocolos desenvolvidos a seguir devem ser compreendidos como estruturas taxonómicas destinadas a distinguir diferentes modos de organização projectual segundo a precedência metodológica dos protocolos que os estruturam, da qual decorre a sequência das operações estruturantes.

A finalidade principal da taxonomia reside na sua aplicação a projectos de raiz, nos quais a organização de sistemas e protocolos pode constituir uma metodologia para explicitar os objectivos e a sua tradução numa ordem de precedência, estruturar as condições de operação e organizar a atribuição de agência e legitimação na gestão de equipas. A sua aplicação procura explicitar as condições metodológicas segundo as quais diferentes participantes e sistemas podem intervir no projecto em função dos objectivos estabelecidos.

03

Modos de Organização Projectual

- *Protocolos &*
  Precedência Metodológica

- *Protocolos Estruturantes &*
  Protocolos Transversais Livres

- *Recorrência &*
  Revisão

- *Sistemas*

Prescritivos
Relacionais
Informacionais

Organização

Modos de Organização Projectual

A crescente capacidade computacional de operar sobre dados formalizados e extrair informação no processo de projecto, discutida anteriormente como uma das condições da segunda viragem digital[1], amplia não apenas as operações que podem ser realizadas sobre o projecto arquitectónico, mas também a necessidade de as organizar sistematicamente perante a multiplicação de participantes, especialidades e informações concorrentes. Como discutido no capítulo anterior, esta capacidade não torna o processo projectual integralmente antecipável pelas estruturas que o orientam. Permite, contudo, reconhecer diferentes modos de organização das suas operações e estabelecer estratégias metodológicas para coordenar as relações entre elas.

Para esse efeito, a presente investigação propõe uma taxonomia baseada em três modos de organização dos sistemas projectuais, designados **Prescritivo**, **Relacional** e **Informacional**. Estes modos não correspondem a atributos exclusivos nem a categorias mutuamente excludentes. Nos procedimentos projectuais alográficos aqui considerados, os três estão simultaneamente presentes, distinguindo-se pela posição hierárquica que ocupam em função dos objectivos estabelecidos para o projecto. A classificação decorre da ordem atribuída a três protocolos estruturantes, **Delimitação**, **Valoração** e **Formalização**, cuja definição será desenvolvida no subcapítulo seguinte. A primeira ordem identifica o protocolo que inicia e assume prioridade na organização do processo, enquanto a segunda e a terceira estabelecem a sequência subordinada dos restantes. Perante condições concorrentes, esta precedência estabelece qual delas deve ser preservada segundo a estratégia metodológica adoptada.

Cada protocolo estruturante pode ocupar a primeira, segunda ou terceira ordem, resultando em seis configurações possíveis, organizadas em três sistemas segundo aquele que assume a precedência. A designação Prescritivo, Relacional ou Informacional identifica, assim, a prioridade metodológica do sistema, enquanto a sequência completa **P/R/I** descreve a sua organização interna. Quando a Delimitação ocupa a primeira ordem, o sistema é classificado como Prescritivo; quando a Valoração assume esta precedência, como Relacional; e quando a Formalização ocupa a primeira ordem, como Informacional:

Sistema Prescritivo (P)

P-R-I: *Delimitação > Valoração > Formalização*
P-I-R: *Delimitação > Formalização > Valoração*

Sistema Relacional (R)

R-P-I: *Valoração > Delimitação > Formalização*
R-I-P: *Valoração > Formalização > Delimitação*

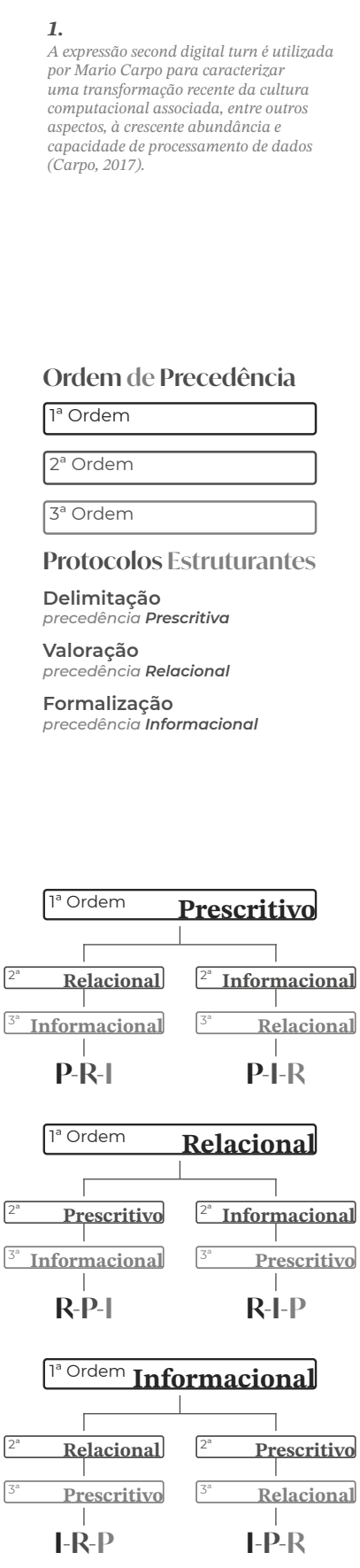
Sistema Informacional (I)

I-R-P: *Formalização > Valoração > Delimitação*
I-P-R: *Formalização > Delimitação > Valoração*

A primeira letra determina, portanto, a classificação do sistema, enquanto a segunda e a terceira explicitam a relação de subordinação entre os protocolos restantes. A classificação não indica a presença ou ausência dos três protocolos, mas a posição que cada um ocupa no procedimento.

A diferença entre os três sistemas reside na operação que assume prioridade.

1.
A expressão second digital turn é utilizada por Mario Carpo para caracterizar uma transformação recente da cultura computacional associada, entre outros aspectos, à crescente abundância e capacidade de processamento de dados (Carpo, 2017).



Num **Sistema Prescritivo**, delimita-se primeiro um domínio de possibilidades dentro do qual o projecto pode variar, como quando regras previamente estabelecidas determinam quais as soluções admissíveis.

Num **Sistema Relacional**, as relações entre elementos e as condições que os afectam orientam prioritariamente a transformação, podendo uma condição estrutural, ambiental ou geométrica alterar as possibilidades consideradas.

Num **Sistema Informacional**, a prioridade reside em formalizar entidades, propriedades e relações para que possam ser operadas, relacionadas e transmitidas através de um sistema. A distinção não depende, deste modo, da presença exclusiva de regras, relações ou informação, mas da prioridade metodológica atribuída às operações que as delimitam, valoram ou formalizam.

Esta organização permanece sujeita ao limite estabelecido por Suchman entre planos e ação situada (***situated action***). Para a autora, os planos constituem recursos para orientar a acção sem determinarem integralmente o seu curso, uma vez que a acção concreta depende das circunstâncias encontradas durante a sua realização (Suchman, 2007, pp. 72–73). As representações abstractas não constituem especificações das interacções locais, mas recursos de orientação perante contingências que permanecem parcialmente fora do plano (Suchman, 2007, pp. 185–186). A precedência metodológica proposta estabelece a sequência inicial das operações estruturantes sem pretender antecipar todas as acções que ocorrerão no seu interior.

A taxonomia proposta não corresponde, contudo, às categorias de Mitchell ou Suchman. Constitui uma construção desta investigação para comparar procedimentos projectuais segundo a organização metodológica das suas operações. A mesma ferramenta, técnica ou procedimento pode integrar sistemas distintos conforme a estratégia através da qual é utilizada, assim como diferentes organizações **P/R/I** podem ser reconhecidas em projectos historicamente afastados. A taxonomia procura, deste modo, distinguir modos de organização projectual, e não classificar períodos históricos, ferramentas ou tecnologias.

Para tornar esta distinção operativa, a investigação considera **oito protocolos projectuais:** Delimitação, Valoração, Formalização, Representação, Selecção, Transmissão, Verificação e Legitimação. Os três primeiros constituem **protocolos estruturantes**, uma vez que a posição hierárquica entre eles determina a primeira, segunda e terceira ordens metodológicas do sistema. Representação, Selecção, Transmissão, Verificação e Legitimação constituem **protocolos transversais livres**, podendo assumir diferentes posições e repetir-se ao longo do processo sem que a sua ordem determine, por si mesma, uma alteração da classificação **P/R/I.**

Estes protocolos não descrevem etapas obrigatórias nem uma sequência universal do acto de projectar, podendo estabelecer diferentes relações entre si ao longo do processo. A sua definição e articulação serão precisadas no subcapítulo seguinte antes da análise individual dos três sistemas.

3.1 Protocolos

Precedência Metodológica

A partir da taxonomia proposta, procura-se distinguir sistemas projectuais segundo a **precedência metodológica** atribuída a determinadas operações em função dos objectivos estabelecidos para o projecto. Estes respondem aos requisitos programáticos e às condições contextuais interpretadas pelo arquitecto ou projectista responsável e informam a estratégia através da qual se procura alcançar determinada solução arquitectónica. A sua agência permanece, neste sentido, na capacidade de interpretar essas condições, estabelecer relações entre elas e gerir as tensões decorrentes da incorporação de novos requisitos e possibilidades ao longo do processo.

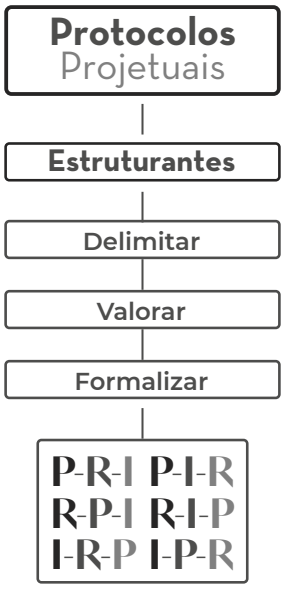
A precedência não constitui, portanto, uma propriedade intrínseca das operações, mas uma ordem definida segundo a função que estas assumem na estratégia adoptada. A partir dos objectivos projectuais, esta estratégia organiza uma sequência entre Delimitação, Valoração e Formalização, que assumem **primeira, segunda ou terceira ordem**. Esta ordenação possui uma dimensão simultaneamente metodológica e cronológica, na medida em que a operação de primeira ordem informa a segunda e esta, por sua vez, a terceira. A hierarquia resultante estabelece uma progressão inicial para o desenvolvimento do sistema e fornece uma referência para confrontar condições concorrentes ao longo do processo.

Esta sequência constitui uma ordenação linear de precedência, sem implicar que cada protocolo seja mobilizado apenas uma vez ao longo do processo. Uma vez definido o sistema, os três protocolos podem reaparecer e provocar a revisão de operações anteriores à medida que novas condições são incorporadas, preservando-se a ordem metodológica estabelecida. Num sistema R-P-I, por exemplo, a Valoração informa inicialmente a Delimitação e esta, por sua vez, a Formalização, podendo uma avaliação posterior conduzir a uma nova Delimitação ou Formalização sem alterar essa precedência. A ordem apenas é revista quando uma alteração dos objectivos ou da estratégia projectual exige a redefinição do próprio sistema.

Destarte, a taxonomia assume uma dupla função. Por um lado, permite interpretar projectos existentes segundo a precedência reconhecida entre as operações que estruturam o seu desenvolvimento, constituindo uma ferramenta para orientar a reconstrução ou intervenção no construído segundo a lógica projectual identificada. Por outro, constitui uma estrutura formalizável através da qual essa precedência pode ser estabelecida para orientar novos processos projectuais. Na estruturação de projectos de raiz, foco principal do presente trabalho, esta precedência estabelece uma referência comum segundo a qual condições concorrentes podem ser confrontadas perante as contingências do processo, sem determinar antecipadamente a sua resolução.

Protocolos Estruturantes

Os protocolos estruturantes definem a ordem segundo a qual o sistema projectual é organizado. A primeira operação informa as seguintes e estabelece a precedência a preservar perante condições concorrentes. Delimitação, Valoração e Formalização ocupam, respectivamente, uma das três posições da sequência, resultando nas diferentes organizações **P/R/I.** Quando a Delimitação ocupa a primeira ordem, o sistema é Prescritivo; quando esta corresponde à Valoração, é Relacional; e quando corresponde à Formalização, é Informacional. As posições subsequentes estabelecem a ordem de subordinação entre os dois protocolos restantes.



. Delimitação

Define o vocabulário projectual que pode ser instanciado, estabelecendo um conjunto de elementos, tipos ou soluções disponíveis para configuração e transformação. Esse vocabulário pode corresponder, por exemplo, a uma linguagem arquitectónica estabelecida, a um catálogo de componentes de um fabricante ou a elementos construtivos normalizados, como paredes, lajes, pilares e caixilharias. Delimitar não significa determinar a configuração final, mas estabelecer com que elementos ou tipos o projecto pode operar.

. Valoração

Define as relações qualitativas e quantitativas, contextuais ou topológicas que devem ser consideradas para orientar uma solução em função dos objectivos estabelecidos. Essas condições podem corresponder, por exemplo, ao contexto físico, desempenho acústico ou ambiental, comportamento estrutural, disponibilidade de materiais, custos ou relações de continuidade e ruptura. Valorar não significa determinar antecipadamente uma configuração, mas avaliar as condições às quais esta deverá responder antes de ser delimitada ou transformada.

. Formalização

Define a estrutura informacional através da qual instâncias, relações e operações são explicitamente descritas, estabelecendo entidades, propriedades, parâmetros, dependências e procedimentos passíveis de reconhecimento e operação. Pode corresponder, por exemplo, à descrição de uma parede através das suas dimensões, materiais, posição, função estrutural, relações com outros elementos e condições de alteração, permitindo que diferentes agentes reconheçam e operem sobre as propriedades que lhes dizem respeito. Formalizar não significa determinar aquilo que deve ser projectado, mas estabelecer como as condições do projecto são explicitadas para que possam ser reconhecidas, relacionadas e operadas.

Protocolos Transversais Livres

Representação, Selecção, Transmissão, Verificação e Legitimação correspondem a operações necessárias ao desenvolvimento e à coordenação do projecto que permanecem subordinadas aos protocolos estruturantes, embora a sua posição não seja determinada a priori pela organização **P/R/I**. Podem repetir-se e estabelecer relações entre si, sendo livres quanto à sua posição cronológica sem determinarem a precedência metodológica do sistema.



. Representação

Define os meios através dos quais instâncias, relações ou informações são tornadas perceptíveis para interpretação por diferentes agentes. Pode corresponder, por exemplo, a um desenho, modelo físico, diagrama, modelo tridimensional ou visualização de dados utilizada para comunicar determinada condição do projecto.

. Selecção

Define a escolha entre instâncias, relações ou alternativas disponíveis em determinado momento, distinguindo aquelas que devem prosseguir no desenvolvimento do projecto. Pode corresponder à escolha de um componente de catálogo, à exclusão de soluções que não satisfazem determinada condição ou à opção entre diferentes configurações produzidas durante o desenvolvimento.

. Transmissão

Define a passagem de informação entre participantes, ferramentas ou momentos do processo. Pode corresponder à comunicação de uma alteração entre arquitecto e engenheiro, à transferência de propriedades entre modelos digitais ou ao envio de informação geométrica e material para fabrico.

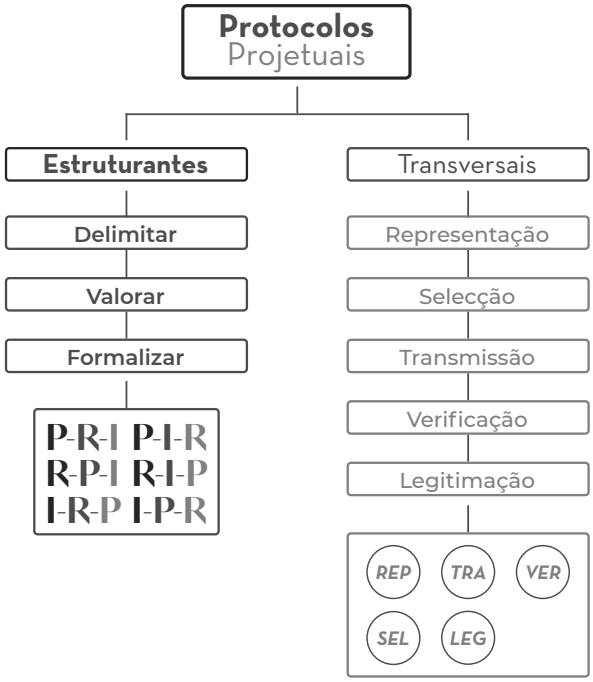
. Verificação

Define a confrontação de um estado ou resultado do projecto com condições previamente estabelecidas, permitindo reconhecer a sua compatibilidade com a organização metodológica do sistema. Pode corresponder, por exemplo, à verificação do desempenho acústico, estrutural ou ambiental de uma solução, ou à conformidade de propriedades num modelo informacional. Verificar não significa alterar a condição utilizada como referência nem determinar a solução subsequente, mas identificar uma eventual incompatibilidade que possa exigir a revisão dos protocolos envolvidos.

. Legitimação

Define o reconhecimento de uma decisão pelo agente investido da autoridade correspondente. Pode ocorrer, por exemplo, quando uma solução estrutural é validada pelo especialista responsável ou uma alteração arquitectónica é aprovada pelo agente competente. Legitimar não significa produzir uma solução nem possuir capacidade técnica para a modificar, mas reconhecer a decisão como admissível no âmbito do processo.

A designação destes procedimentos como protocolos não significa que constituam etapas obrigatórias ou instruções executadas segundo uma sequência universal. Um protocolo identifica uma operação que pode assumir diferentes formas segundo os meios, agentes e condições do sistema em que ocorre. Pode ser realizado através de procedimentos analógicos ou computacionais, corresponder a uma acção singular ou integrar cadeias mais extensas e repetir-se em diferentes momentos. A sua identificação permite, assim, comparar operações tecnicamente distintas sem reduzir o acto de projectar a uma sequência predeterminada.



Recorrência & Revisão

A ordem estabelecida entre os protocolos estruturantes não se restringe ao momento inicial do projecto, mas mantém-se ao longo do seu desenvolvimento enquanto permanecerem válidos os objectivos e a estratégia metodológica que a determinaram. Delimitação, Valoração e Formalização podem ser retomadas sempre que novas contingências, informações ou incompatibilidades exijam rever condições anteriormente estabelecidas, sem que essa recorrência altere a classificação **P/R/I.**

Esta permanência não depende de um faseamento projectual específico. No enquadramento português das obras públicas[2], por exemplo, o desenvolvimento do projecto organiza-se em diferentes fases, do Programa Base ao Projecto de Execução, ao qual se associa posteriormente a Assistência Técnica, existindo estruturas equivalentes noutros contextos profissionais. A passagem entre estas fases pode modificar o grau de desenvolvimento, os agentes envolvidos e as condições sobre as quais se opera, mas não implica, por si só, uma alteração da precedência metodológica.

Ao longo deste desenvolvimento, verificações sucessivas permitem confrontar as condições produzidas a jusante com aquelas que assumem precedência no sistema, sem que a sua realização implique necessariamente a reabertura dos protocolos. Quando uma verificação identifica uma incompatibilidade, revê-se o protocolo responsável pela condição incompatível e, quando necessário, aqueles que dele dependem.

Apenas quando a incompatibilidade não pode ser resolvida a jusante, através da revisão dos protocolos de menor precedência, se torna necessário negociar ou rever uma condição de maior precedência. A recorrência compreende, assim, ciclos de verificação e eventual revisão, preservando a ordem metodológica enquanto permanecerem válidos os objectivos e a estratégia que a estabeleceram.

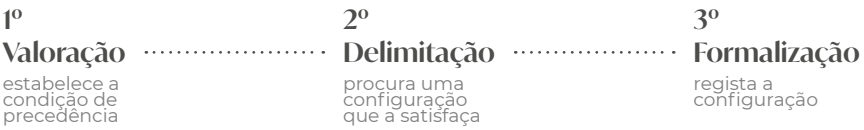
2.
A Portaria n.º 255/2023, de 7 de Agosto, estabelece como fases do projecto o Programa Base, Estudo Prévio, Anteprojecto e Projecto de Execução, associando a este último a Assistência Técnica (art. 3.º). O art. 12.º, n.º 2, esclarece que a Assistência Técnica não constitui, contudo, uma fase de projecto, correspondendo a um direito e obrigação do coordenador e dos autores de projecto.

Assim, por exemplo, sob o objectivo projectual de alcançar um elevado desempenho acústico numa sala de concertos, pode estabelecer-se um sistema **Relacional** de primeira ordem, Prescritivo de segunda e Informacional de terceira, **R-P-I**, no qual determinadas condições acústicas assumem precedência na definição da solução.

Estabelecida esta sequência, a **Valoração** constitui o primeiro protocolo mobilizado, permitindo avaliar, entre outros parâmetros:

. *Níveis de ruído esperados*
. *Condições de reverberação*
. *Isolamento relativo ao exterior*
. *Distribuição sonora*

Sistema Relacional *R-P-I*



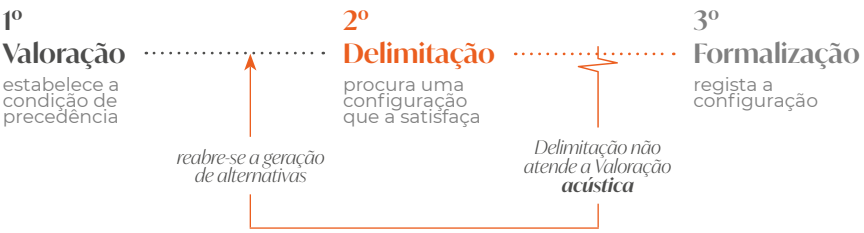
Estas condições informam a **Delimitação** da geometria, das superfícies e dos elementos admitidos para a sala, posteriormente descritos através da **Formalização** necessária ao seu desenvolvimento e coordenação.

Caso uma análise acústica posterior sobre o modelo formalizado revele um desempenho incompatível com as condições estabelecidas, estas mantêm a sua precedência e reabre-se a Delimitação para ajustar a solução, actualizando-se subsequentemente a Formalização das entidades ou relações alteradas. A Valoração apenas será reaberta caso se torne necessário rever ou negociar as próprias condições de desempenho que orientam a solução, nomeadamente perante a impossibilidade de as satisfazer ou uma alteração dos objectivos que as determinaram.

. Caso a ***Delimitação*** não satisfaça as condições definidas pela ***Valoração***:

Notação
(') *identifica o protocolo sujeito a revisão;*

R-P'-I'



Se, pelo contrário, as condições acústicas e a configuração permanecerem válidas e surgir apenas a necessidade de acrescentar ou actualizar uma propriedade notacional, a revisão pode restringir-se à Formalização.

Sistema Prescritivo *P-R-I*

Caso o objectivo projectual seja preservar uma determinada linguagem formal ou vocabulário arquitectónico, pode estabelecer-se um sistema **Prescritivo** de primeira ordem, Relacional de segunda e Informacional de terceira, **P-R-I**, no qual um domínio de instâncias previamente delimitadas assume precedência na definição da solução.

A Delimitação passa a constituir o primeiro protocolo mobilizado, definindo as instâncias, geometrias ou elementos admitidos num vocabulário vocabulário formal. Estas condições informam posteriormente a Valoração do seu desempenho estrutural, ambiental ou funcional e, por fim, a Formalização necessária ao desenvolvimento e coordenação do projecto.

Neste cenário, caso uma verificação estrutural posterior à delimitação delimitação de instâncias revele uma incompatibilidade que possa ser resolvida através do dimensionamento ou ajuste da estrutura sem alterar a configuração estabelecida, a Delimitação mantém a sua precedência e a revisão restringe-se à Valoração e a sua Formalização é posteriormente actualizada

Neste caso, a Delimitação apenas será reaberta caso se conclua que a condição formal estabelecida não pode ser preservada, exigindo a sua revisão ou negociação e a subsequente actualização dos protocolos que dela dependem.

. Caso a ***Valoração*** não satisfaça as condições definidas pela ***Delimitação***:

P-R'-I'



Porém caso ***Valoração*** *da estrutura não encontre nenhuma solução viável dentro do domínio delimitado, reabre-se a* ***Delimitação:***

Notação
(') identifica o protocolo sujeito a revisão;
(*) assinala os casos em que a revisão incide sobre o protocolo de primeira ordem.

P'-R'-I' ***



Sistema Informacional *I-R-P*

Por fim, quando o objectivo projectual depende prioritariamente da definição de uma estrutura algorítmica capaz de organizar e processar as condições do projecto, pode estabelecer-se um sistema **Informacional** de primeira ordem, Relacional de segunda e Prescritivo de terceira, **I-R-P,** no qual a estrutura formalizada precede as configurações que dela podem resultar.

Num ambiente paramétrico como o Grasshopper, esta organização pode ser essencial para o processo projectual quando a definição da própria estrutura computacional assume precedência metodológica no processo de gestão de parâmetros e níveis de acesso. Nesse caso, a Formalização constitui o primeiro protocolo mobilizado, estabelecendo entidades, propriedades, dependências e procedimentos capazes de representar e operar sobre determinadas condições do projecto organizado. A estrutura assim definida informa posteriormente a Valoração dos resultados produzidos e, por fim, a Delimitação das instâncias ou configurações consideradas admissíveis.

A Formalização apenas será reaberta caso surja uma condição que a estrutura não consiga formalizar, como uma nova propriedade ou relação não prevista entre componentes, tornando necessário incorporá-la e actualizar subsequentemente os protocolos que dela dependem.

. Caso a ***Delimitação*** introduza uma instância incompatível com os requisitos da estrutura de dados formalizada pela ***Formalização,*** descarta-se a instância não admitida e reabre-se apenas o protocolo de ***Delimitação***:

I-R-P'

1º Formalização — estabelece a condição de precedência

2º Valoração — valora e selecciona configurações de acordo com os objectivos projetuais

3º Delimitação — instancia elementos válidos dentro da estrutura formalizada

*Porém caso a **Valoração** ou a **Delimitação** exijam alterações na estrutura de dados formalizada seja para acrescer propriedades ou solucionar questões de interoperabilidade, reabre-se a **Formalização:***

***I'-R'-P'** **

1º Formalização — reestutura a formalização de dados

2º Valoração — valora e selecciona configurações de acordo com os objectivos projetuais

3º Delimitação — instancia elementos válidos dentro da estrutura formalizada

reabre-se a estrutura informacional

necessidade de mudanças na estrutura de dados

Logo, os exemplos demonstram que a recorrência não implica reiniciar toda a sequência. Verificações sucessivas confrontam os resultados com as condições estabelecidas segundo a precedência do sistema. Quando estas permanecem válidas, a revisão incide sobre os protocolos a jusante necessários para restabelecer a compatibilidade; apenas quando deixam de poder ser satisfeitas ou os objectivos são alterados se torna necessário revê-las.

A organização **P/R/I** mantém-se, assim, estável enquanto permanecer válida a estratégia metodológica que a estabeleceu.

3.2 Sistemas Prescritivos

Delimitação

No âmbito da taxonomia proposta nesta investigação, os Sistemas Prescritivos correspondem aos procedimentos projectuais nos quais a **Delimitação** ocupa a primeira ordem metodológica, estabelecendo os elementos, tipos, propriedades, proporções, relações ou transformações admissíveis.

A classificação não decorre, portanto, da simples presença de regras ou instâncias, também presentes nos Sistemas Relacionais e Informacionais, mas da precedência atribuída à definição destas condições. Tal precedência não implica, contudo, a determinação antecipada de uma solução singular, podendo admitir múltiplas configurações. Prescrever significa, nesta perspectiva, delimitar as condições dentro das quais diferentes soluções podem ser produzidas e transformadas.

Ademais, a sistematização deste domínio exige uma conceptualização do objecto que permita segmentá-lo em partes reconhecíveis e organizar as relações entre elas. Mitchell exemplifica esta operação através do ***Parthenon***, cuja descrição pode ser estruturada segundo uma ***hierarchy of parts***, decompondo o edifício em partes e subpartes, como colunas, capitéis e fustes, às quais podem ser atribuídas propriedades e relações (Mitchell, 1990, p. 14–16). Esta decomposição permite posteriormente definir um ***design world,*** no qual primitivas e operações estabelecem um ***domain of formal possibilities*** (Mitchell, 1990, p. 37–42). Para a tese aqui proposta, interessa esta passagem da identificação das partes à constituição de um domínio operável, no qual se delimitam os elementos e as operações que sobre eles podem actuar.

"The essential points are that design exploration is rarely indiscriminate trial-and-error but is more usually guided by the designer's knowledge of how to efficiently put various types of compositions together and that such knowledge can often he made explicit, in a concise and uniform format, by writing down shape rules"

(Mitchell, 1990, pp. 181)

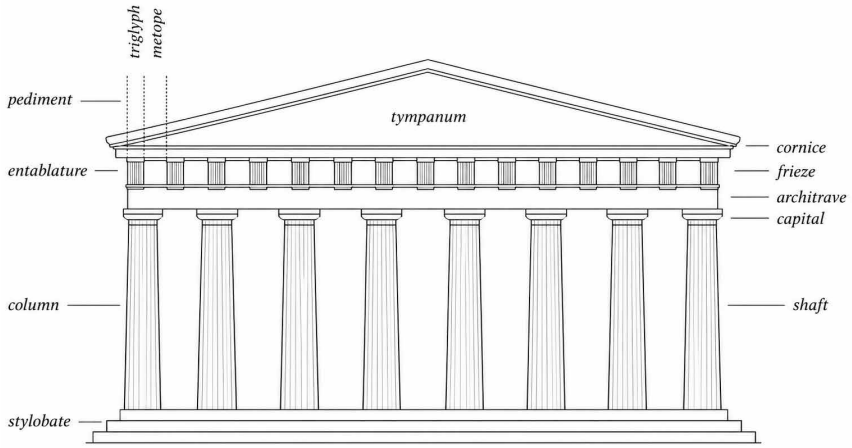


fig. 6

Parthenon.
Decomposition of the Parthenon into primary and secondary parts.

Fonte: Mitchell (1990, p. 15, fig. 1.18); Ilustração: Claudia Knauer.

Digitalização da edição impressa, com tratamento digital da imagem.

Neste sentido, a prescrição pode assumir diferentes graus de determinação, desde sistemas que restringem severamente os elementos e transformações disponíveis até outros que admitem um domínio extenso de soluções. Em ambos os casos, a classificação depende da precedência da Delimitação, e não da quantidade de alternativas produzidas, podendo sistemas computacionais gerar inúmeras variantes sem que essa multiplicidade implique uma organização Relacional ou Informacional de primeira ordem.

Esta condição permite igualmente distinguir prescrição de determinação. Mitchell observa que, mesmo num ***design world*** formalmente estruturado, a escolha entre respostas possíveis não caracteriza, por si só, a actividade de um projectista competente, permanecendo central a reflexão crítica sobre as consequências das alternativas (Mitchell, 1990, pp. 237–238). Tal compreensão, aproxima-se da crítica de Suchman à compreensão dos planos como determinações exaustivas da acção, propondo, em alternativa, que estes funcionam como recursos cuja utilização depende das circunstâncias concretas em que a acção ocorre (Suchman, 2007, pp. 72–73). A Delimitação estabelece, assim, condições para uma acção situada, ***situated action***, sem antecipar integralmente as decisões que ocorrerão no seu interior.

Sob este enquadramento, cânones, tratados, sistemas compositivos, gramáticas e determinados sistemas paramétricos podem manifestar uma organização Prescritiva quando partem da constituição de um campo de elementos e transformações admissíveis. Nas ordens clássicas, a Delimitação pode incidir sobre tipos, proporções e condições compositivas; em sistemas industrializados, sobre componentes, dimensões e formas de associação; numa gramática formal, sobre conjuntos de instâncias e respectivas regras de transformação; num sistema computacional, sobre entidades, parâmetros e operações codificadas. Nenhum destes dispositivos é, contudo, Prescritivo por definição, dependendo a sua classificação da precedência assumida pela Delimitação.

Em síntese, a Delimitação constitui a operação protocolar que antecede e condiciona a exploração do campo de possibilidades, sem determinar necessariamente a configuração que dele resultará. Para compreender como esta precedência se concretiza, importa distinguir dois momentos complementares. O primeiro corresponde à constituição do vocabulário sobre o qual o sistema pode actuar, estabelecendo aquilo que pode ser reconhecido como instância admissível. O segundo corresponde às regras segundo as quais essas instâncias podem ser relacionadas e transformadas, permitindo produzir diferentes elementos sem abandonar necessariamente o domínio anteriormente constituído. É nesta articulação entre vocabulário, regra e instanciação que se estrutura a lógica Prescritiva.

Delimitação & Vocabulário

Tipos

Como uma das vertentes que estruturam a lógica Prescritiva, a constituição de um domínio projectual parte da capacidade de reconhecer regularidades para além das suas ocorrências particulares. Determinadas propriedades podem ser identificadas como recorrentes entre diferentes configurações, permitindo estabelecer semelhanças e diferenças entre instâncias. Mitchell situa uma operação elementar deste processo na própria percepção, através da qual o contínuo espacial é segmentado em entidades persistentes e espacialmente coerentes, tornando possível organizar aquilo que posteriormente poderá constituir um vocabulário projectual (Mitchell, 1990, p. 5). Esta diferença não determina ainda a arquitectura produzida, mas estabelece unidades sobre as quais operações posteriores poderão actuar.

A nível disciplinar, esta capacidade ganha expressão quando estas regularidades são abstraídas das ocorrências particulares e estabilizadas como referências aplicáveis a novas situações. O tipo arquitectónico constitui uma das manifestações mais persistentes deste processo. Argan entende a formação tipológica como resultado da comparação e sobreposição de diferentes exemplares, através da qual são eliminadas características particulares e preservada uma estrutura formal comum (Argan, 1963, p. 243). O tipo não constitui, deste modo, um modelo destinado à reprodução literal, mas um esquema que admite diferentes concretizações (Argan, 1963, pp. 243–244).

Por conseguinte, a distinção entre tipo e modelo é relevante para a compreensão dos Sistemas Prescritivos, uma vez que demonstra que a Delimitação não exige um exemplar destinado à reprodução literal. Segundo Argan, enquanto

o modelo se apresenta como um objecto a repetir tal como é, o tipo constitui um esquema a partir do qual podem ser concebidas obras distintas entre si (Argan, 1963, pp. 243–244). Sob a taxonomia proposta, a Delimitação pode, assim, operar num nível abstracto, estabelecendo aquilo que deve permanecer reconhecível entre diferentes instâncias sem determinar todas as suas propriedades.

Mitchell desenvolve esta relação ao definir o vocabulário arquitectónico a partir de tipos de elementos reconhecíveis num determinado corpus. Assim como um vocabulário linguístico estabelece palavras disponíveis sem determinar todas as frases possíveis, um vocabulário arquitectónico pode estabelecer elementos sem determinar as composições em que participarão. O vocabulário clássico pode, por exemplo, incluir diferentes tipos de colunas, aberturas e elementos de remate, caracterizados pelas suas propriedades, contextos de ocorrência e condições que devem satisfazer (Mitchell, 1990, pp. 98–102, 220). A Delimitação reduz, deste modo, um universo potencialmente indeterminado a um conjunto reconhecível sobre o qual operações projectuais podem actuar.

Esta operação não implica, contudo, que o vocabulário permaneça historicamente fixo ou que as suas fronteiras resultem exclusivamente de critérios formais. Como discutido anteriormente, aquilo que pode integrar um ***design world*** depende igualmente das condições materiais e produtivas do ***construction world***, sendo que contextos tecnológicos fortemente restritivos tendem a produzir vocabulários relativamente reduzidos e estáveis, enquanto novos materiais e processos ampliam o conjunto de elementos disponíveis ao projecto (Mitchell, 1990, pp. 219–220). Sob a taxonomia proposta, a Delimitação pode, deste modo, ser revista perante alterações nos recursos, requisitos, objectivos ou circunstâncias que o domínio vigente não consiga absorver, sem que essa revisão elimine a sua precedência no sistema.

Delimitação & Instanciação

Regra

Como segunda vertente que estrutura a lógica Prescritiva, a regra estabelece as condições segundo as quais os elementos anteriormente delimitados podem ser relacionados e transformados, permitindo a produção de diferentes instâncias. A instanciação corresponde, assim, à produção de uma ocorrência particular dentro das condições estabelecidas pelo sistema. Diferentes regras podem ser aplicadas a diferentes elementos ou segundo sequências distintas, permanecendo as transformações admissíveis subordinadas ao domínio previamente delimitado.

A passagem do vocabulário à instanciação pode ser observada nas villas palladianas, cuja diversidade não impede o reconhecimento de elementos e princípios recorrentes. Nos ***Quattro Libri dell'Architettura***, Palladio apresenta diferentes villas nas quais se repetem salas, quartos, loggias, escadas e espaços destinados às funções agrícolas, organizados de formas distintas em cada edifício (Palladio, 1570, Livro II). Sob a leitura proposta, interessa esta relação entre permanência e variação, na qual a Delimitação estabelece os elementos e condições que caracterizam o domínio palladiano, enquanto cada villa constitui uma instanciação particular dentro desse campo de possibilidades.

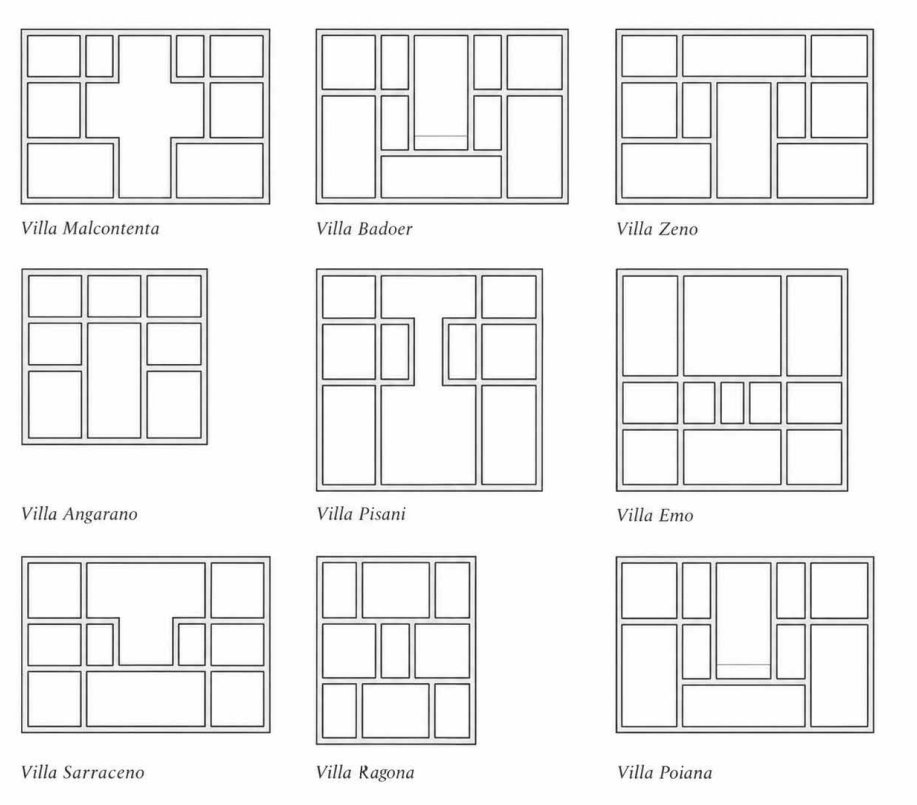
Mitchell torna esta relação operativa ao reconstruir uma linguagem das villas palladianas através de um vocabulário e de regras capazes de gerar diferentes configurações. A derivação parte de uma grelha e desenvolve sucessivamente o perímetro, compartimentos, paredes, acessos, colunas, portas e janelas, permitindo gerar tanto villas publicadas por Palladio como novas configurações compatíveis com a linguagem formalizada (Mitchell, 1990, pp. 153–179). As regras não determinam, por isso, uma villa específica, mas estabelecem como os elementos previamente delimitados podem ser organizados e transformados no interior dessa linguagem.

fig. 7

Palladian Villas.
Schematic plans of the uniaxial villas published in Palladio's Four Books of Architecture and generated by the grammar.

Fonte: Mitchell (1990, p. 172, fig. 8.49); Ilustração: Claudia Knauer.

Digitalização da edição impressa, com tratamento digital da imagem.



Neste sentido, a relação entre vocabulário, regra e instanciação pode ser observada na formalização computacional da linguagem projectual das casas da **Malagueira** desenvolvida por José Pinto Duarte. A partir da análise das habitações projectadas por Álvaro Siza, Duarte formaliza regras capazes de reproduzir configurações existentes e gerar novas variantes dentro da linguagem identificada. Estas actuam sobre operações como subdividir ou concatenar espaços, atribuir funções, alterar relações entre compartimentos e introduzir determinadas geometrias, conduzindo a diferentes estados do projecto. O processo evidencia, assim, como diferentes soluções podem resultar de operações sobre elementos e relações dentro de uma linguagem previamente caracterizada (Duarte, 2005, pp. 354–356).

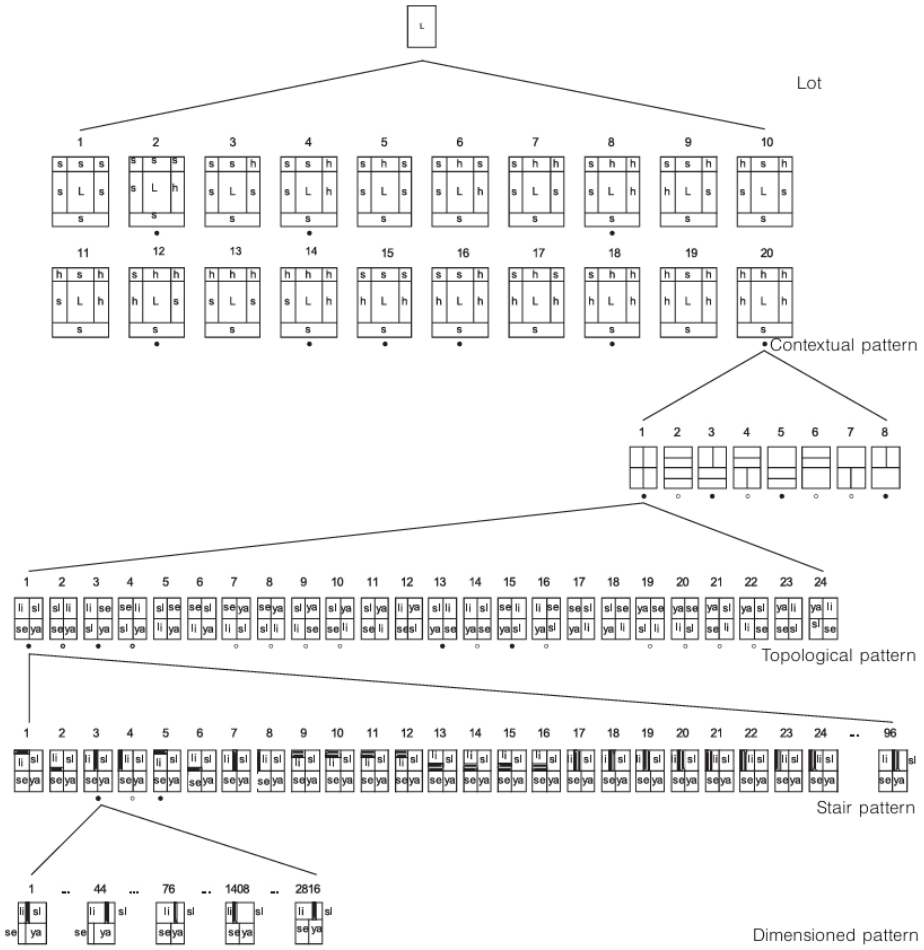
O caso evidencia igualmente que a capacidade generativa de uma gramática não elimina a verificação da pertença das soluções ao domínio estabelecido. Duarte submeteu novas soluções a diferentes testes e à apreciação de Siza para verificar se permaneciam reconhecíveis dentro da linguagem arquitectónica pretendida, distinguindo a capacidade de as produzir da sua admissibilidade nesse domínio. Consoante a classificação aqui sugerida, a Delimitação precede as operações de geração, selecção e verificação, pelo que uma solução incompatível com as condições estabelecidas deverá ser revista ou excluída, salvo revisão explícita do próprio domínio. Este pode, assim, ser redefinido, uma vez que Duarte admite transformar a gramática ou introduzir novas regras perante problemas geométricos ou novas exigências programáticas (Duarte, 2005, p. 379).

A passagem da regra à instanciação permite, por fim, precisar o sentido atribuído à prescrição nesta investigação. Um Sistema Prescritivo não se caracteriza pela repetição literal de formas nem por uma sequência invariável de instruções, mas pela precedência metodológica de um domínio que estabelece aquilo que pode integrar o sistema e as condições dentro das quais as suas transformações são admissíveis. Tipos, vocabulários e gramáticas constituem diferentes graus de explicitação desta estrutura e podem admitir variação significativa sem abandonar as condições que organizam a sua produção. Quando a avaliação das relações entre elementos, desempenho ou contexto passa a orientar prioritariamente a transformação, a Delimitação deixa de ocupar a primeira ordem, introduzindo a passagem para os Sistemas Relacionais.

fig. 8

Malagueira.
The potential universe of solutions in the Malagueira grammar.

Fonte: Duarte (2005, p. 361, fig. 10).



3.3
Sistemas Relacionais

Valoração

Sistemas Relacionais correspondem aos procedimentos projectuais nos quais a **Valoração** ocupa a primeira ordem metodológica, fazendo com que relações entre elementos e condições que sobre eles incidem participem prioritariamente da determinação das suas propriedades e configurações. A classificação não pressupõe a ausência de instâncias, regras ou restrições previamente estabelecidas, mas uma alteração de precedência, na qual o domínio delimitado pode ser transformado ou reaberto em função das condições valoradas.

A Valoração designa, neste contexto, o protocolo através do qual propriedades, relações ou configurações são confrontadas com condições capazes de participar da sua determinação. Estas podem decorrer de requisitos estruturais, ambientais, funcionais, económicos, materiais ou espaciais e assumir diferentes graus de formalização, desde a observação e manipulação de um modelo físico até à avaliação computacional de parâmetros relacionados.

O que caracteriza a primeira ordem Relacional não é, deste modo, a simples existência de relações intrínsecas à instância, igualmente presentes num Sistema Prescritivo, mas a participação de condições exteriores à instância na sua determinação, condicionando as posteriores operações de Delimitação e Formalização.

Esta separação permite compreender por que uma relação não constitui, por si mesma, evidência de um Sistema Relacional. Num sistema previamente delimitado, relações proporcionais, geométricas ou construtivas podem regular a transformação das instâncias sem adquirirem precedência sobre o domínio que as contém, como nas villas palladianas, cujas relações compositivas integram o próprio conjunto de regras de Delimitação das instâncias. A

condição altera-se quando a Valoração de relações ou condições extrínsecas às instâncias participa da determinação das suas propriedades ou conduz à revisão das possibilidades anteriormente consideradas. Sob a taxonomia proposta, interessa, portanto, reconhecer quando esta deixa de operar sobre um domínio estabelecido e passa a participar da sua transformação.

Não obstante, a precedência da Valoração não implica que a configuração resulte autonomamente das relações avaliadas nem que esta dependa da sua formalização computacional. A definição dos requisitos, a escolha das variáveis e das condições segundo as quais estas serão confrontadas permanecem operações projectuais, podendo relações concorrentes exigir interpretação e legitimação.

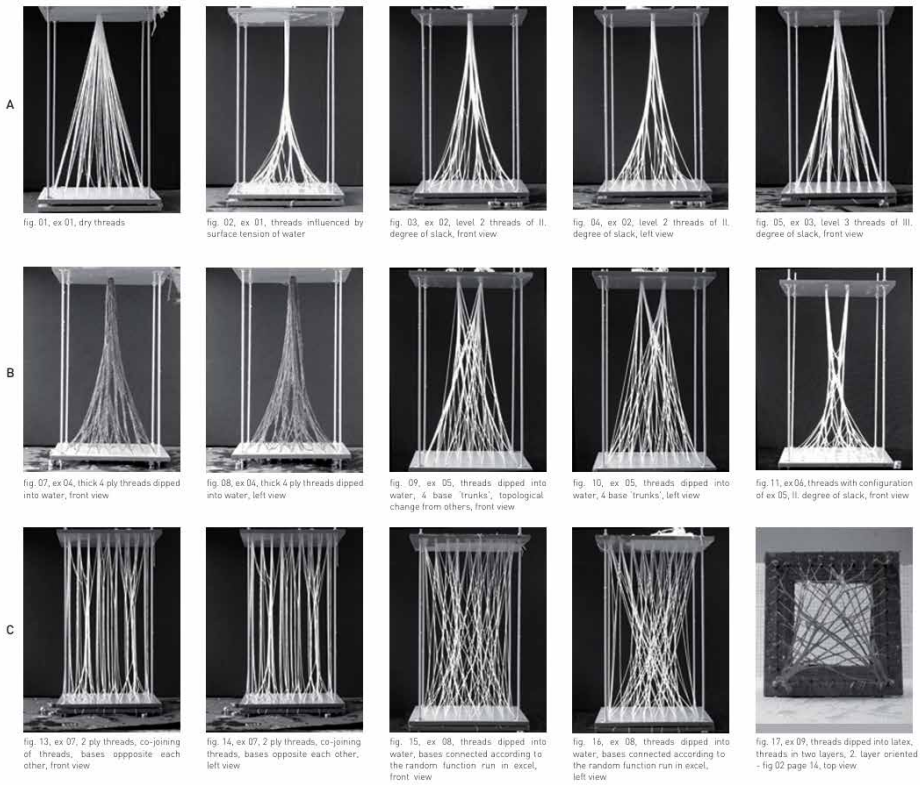
Esta situação sendo particularmente clara em processos de ***form finding***[3], nos quais a forma não é inteiramente definida ***a priori***, mas encontrada através da interacção entre forças, propriedades materiais e condições de fronteira. Hensel, Menges e Weinstock descrevem o ***Selbstbildung*** (***self-forming***) de Frei Otto como um processo no qual o projectista estabelece parâmetros críticos e características materiais, permitindo que o sistema encontre uma configuração de equilíbrio a partir das forças e resistências que sobre ele actuam (Hensel, Menges & Weinstock, 2010, p. 49).

3.
Form finding designa processos nos quais a configuração formal é encontrada através da interacção entre forças, propriedades materiais e condições de fronteira, em vez de ser integralmente definida a priori. Nos processos de Frei Otto discutidos por Hensel, Menges e Weinstock, esta lógica é utilizada na procura de configurações de equilíbrio estrutural e posteriormente alargada a outros critérios de desempenho (2010, pp. 49–50).

fig. 9

Form Finding.
The form-finding method for branching systems developed by Frei Otto and his team.

Fonte: Hensel, Menges & Weinstock (2010, p. 164, fig. 8.7). Crédito: Pavel Hladik, 2006.



Para os fins desta investigação, para os fins desta investigação, estas relações são distinguidas segundo duas naturezas complementares. As **Relações Associativas** estabelecem dependências predominantemente sintácticas entre propriedades, através das quais alterações podem ser propagadas e avaliadas, enquanto as **Relações Topológicas** incidem sobre condições predominantemente semânticas de conexão, continuidade, ruptura, pertença ou delimitação, capazes de participar da organização e do reconhecimento das instâncias. Ambos os conjuntos correspondem a relações extrínsecas às instâncias e não constituem categorias mutuamente exclusivas, operando frequentemente em simultâneo num mesmo Sistema Relacional.

Relações Associativas

Sintaxe

Relações Associativas correspondem a dependências através das quais determinadas condições participam da definição ou alteração dos valores assumidos pelas propriedades de uma instância. Esta lógica encontra correspondência nos modelos associativos descritos por Kolarevic, nos quais parâmetros responsáveis pela dimensão, forma e posição dos elementos podem ser vinculados de modo a que modificações introduzidas numa parte do modelo se propaguem pelas dependências estabelecidas (Kolarevic, 2003). Esta diferença não determina ainda a arquitectura produzida, mas estabelece unidades sobre as quais operações posteriores poderão actuar.

A presença destas dependências não implica, entretanto, que a Valoração assuma a primeira ordem protocolar. A gramática desenvolvida por José Pinto Duarte para as habitações da Malagueira constitui um caso limite desta condição. Como observado anteriormente, o sistema estabelece um domínio de tipos, zonas funcionais e regras de composição, mas explicita igualmente relações associativas nas quais o contexto urbano condiciona as fachadas passíveis de receber aberturas, a organização do primeiro piso condiciona os superiores, paredes estruturais mantêm alinhamento vertical e o vão entre paredes portantes determina a espessura necessária da laje (Duarte, 2005, pp. 354, 359–360). Estas dependências determinam propriedades e relações métricas passíveis de ajuste, permanecendo, porém, subordinadas à admissibilidade no âmbito da linguagem previamente delimitada por Siza. Sob a taxonomia proposta, a Malagueira permanece, assim, Prescritiva de primeira ordem e Relacional de segunda, demonstrando que a existência de relações associativas não determina, por si só, a precedência da Valoração.

Esta precedência pode ser observada, por contraste, no **Terminal Internacional de Waterloo,** de Nicholas Grimshaw. A cobertura foi desenvolvida através de um modelo paramétrico no qual uma família de arcos relacionados respondia às variações do traçado e das condições geométricas do projecto, propagando alterações pelas propriedades dependentes. Kolarevic identifica neste projecto uma das primeiras aplicações arquitectónicas significativas de modelação paramétrica associativa, na qual relações geométricas explicitamente estabelecidas permitiam actualizar a configuração perante alterações das condições de projecto (Kolarevic, 2003).

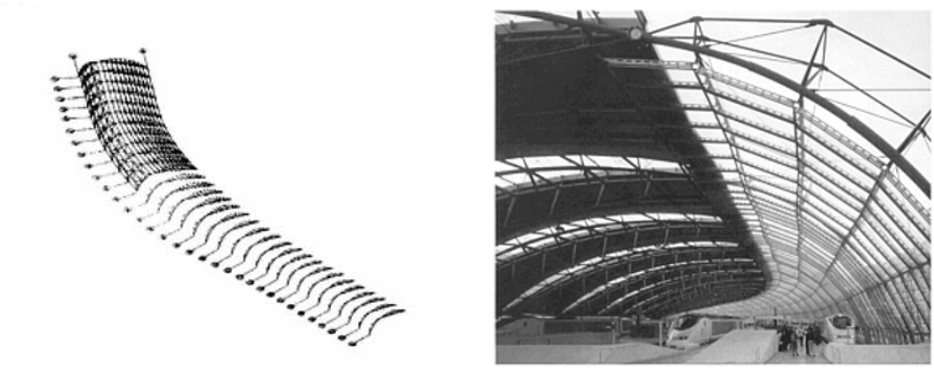


fig. 10,11

Waterloo International Terminal.

International Terminal, Waterloo Station (1993), London, UK, architect Nicholas Grimshaw and Partners. 36 dimensionally different but identically configured three-pin bowstring arches.

Fonte: Kolarevic (2003, p. 27, figs. 2.14–2.15). Créditos: fig. 2.14, Peter Cook/View; fig. 2.15, Nicholas Grimshaw and Partners.

Conforme a sistemática aqui estabelecida, **Waterloo** permite ainda precisar que a Valoração Relacional não exige que as condições extrínsecas sejam variáveis. Uma condição relativamente estável, como a geometria do traçado, pode adquirir precedência metodológica quando a sua relação com a configuração determina propriedades abertas à transformação. Por extensão, condições como a geometria ou topografia do terreno, a infraestrutura urbana, a incidência solar, a gravidade ou o regime de ventos podem assumir precedência Relacional quando determinam ou modificam propriedades da configuração projectual.

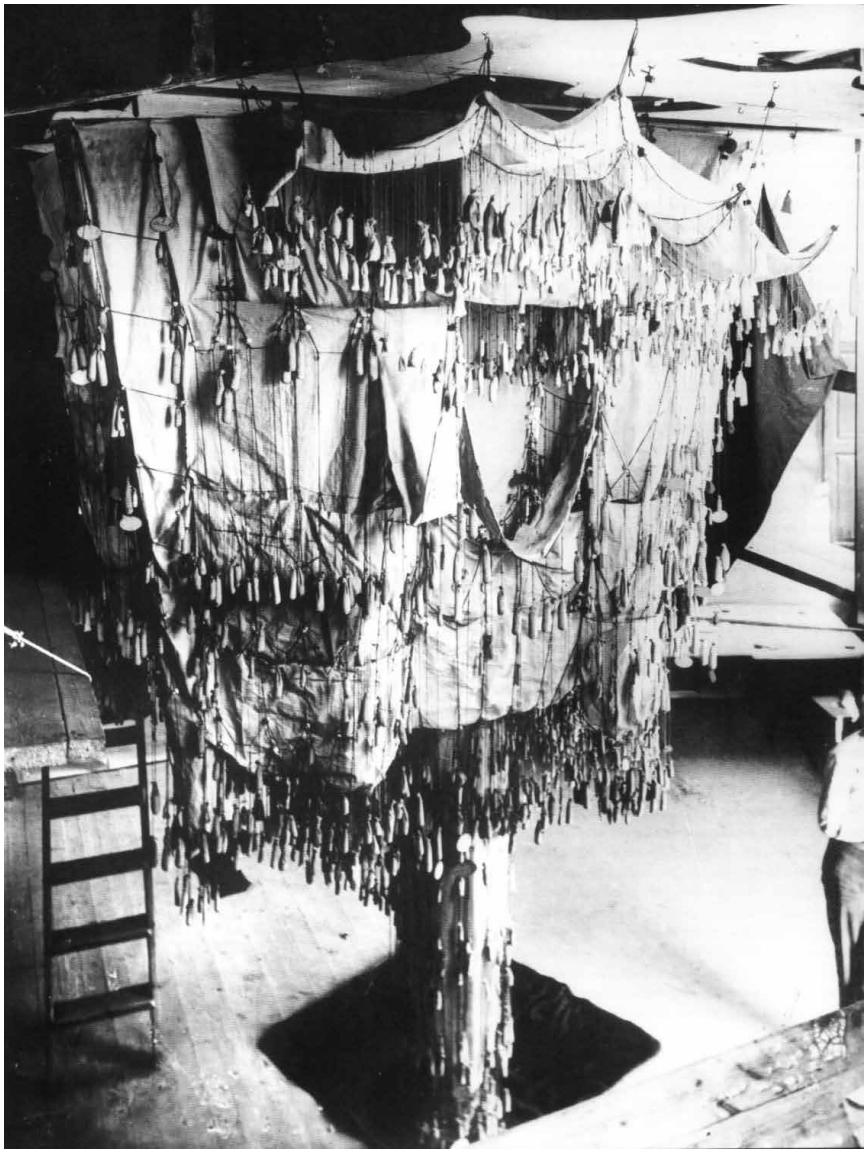
Como exemplo analógico de Sistema Relacional de primeira ordem, de acordo com a taxonomia proposta por esta tese, os modelos suspensos utilizados por Antoni Gaudí no estudo processual da igreja da ***Colònia Güell*** permitem reconhecer uma organização Relacional por meios físicos. A geometria não é previamente desenhada e posteriormente submetida à verificação estrutural, mas resulta da relação entre gravidade, cargas, apoios e comportamento das catenárias. A alteração destas condições modifica o equilíbrio do conjunto e, consequentemente, a configuração que, quando invertida, permite investigar uma geometria em compressão. Infere-se, assim, que a precedência Relacional não depende da formalização computacional das relações, mas da função que estas assumem na determinação da configuração.

fig. 12

Colònia Güell.
Fotografia rodada da maqueta invertida de pesos e cordéis suspensos utilizada por Antoni Gaudí para calcular e projectar a igreja da Colònia Güell.

Fonte: Faulí i Oller (2024, p. 77). Fotografia de autor não identificado.

Reprodução digital obtida através do Wikimedia Commons.



Importa, por fim, distinguir estas dependências de relações cuja função não consiste na transmissão de determinações entre propriedades. Um corredor, por exemplo, não é definido apenas pelas suas dimensões, mas também pela condição de conexão que estabelece entre espaços arquitectonicamente reconhecíveis, podendo esta relação permanecer apesar de alterações na sua configuração métrica. Do mesmo modo, uma parede pode reajustar associativamente a sua espessura perante uma condição exterior, conservando a relação de separação entre dois domínios espaciais. Nestes casos, determinadas relações participam do reconhecimento semântico da instância sem determinarem necessariamente a sua configuração geométrica particular. É sobre este estatuto que se estabelece a seguinte categoria definida nesta investigação como **Relações Topológicas.**

Relações Topológicas

Semântica

Relações Topológicas, em complementaridade com as Relações Associativas, designam, conforme a sistemática aqui estabelecida, condições de conexão, continuidade, adjacência, ruptura, pertença, inclusão, separação ou delimitação cuja permanência pode organizar as transformações admissíveis das instâncias, mesmo quando as suas propriedades métricas particulares se modificam. Inversamente, instâncias geometricamente equivalentes podem assumir relações distintas, como duas lajes que desempenham condições de delimitação ou separação diferentes conforme a sua posição no conjunto. A categoria não deve ser confundida com a definição matemática estrita de topologia, da qual recupera apenas o princípio segundo o qual determinadas estruturas relacionais podem permanecer invariantes perante transformações contínuas. Kolarevic observa, neste sentido, que formas metricamente distintas podem ser consideradas topologicamente equivalentes quando conservam as relações e interconexões que estruturam a sua organização (Kolarevic, 2003, pp. 18–19).

Consequentemente, Relações Topológicas e Associativas podem coexistir sobre a mesma configuração. Nos modelos suspensos de Gaudí, gravidade, cargas e comportamento das catenárias participam associativamente da determinação da geometria, mas essas dependências operam sobre uma estrutura de conexões, apoios, continuidade, interioridade e exterioridade entre os seus elementos. Do mesmo modo, nos processos de Frei Otto, as propriedades geométricas permanecem abertas até serem estabilizadas pelo equilíbrio das forças, enquanto apoios, conexões e continuidade material estabelecem relações entre as partes que podem permanecer através das diferentes configurações assumidas. Uma alteração Associativa pode, assim, reajustar propriedades dentro dessa estrutura, mas também produzir rupturas ou modificar relações de continuidade, conexão ou pertença, alterando a própria organização Topológica da configuração.

Esta precedência das relações também não exige que estas se encontrem previamente formalizadas. O processo projectual de Frank Gehry, oferece um caso elucidativo desta condição de charneira entre Sistemas Relacionais e a posterior passagem para a precedência da Formalização de dados e informações. Como descrito por Lindsey, a procura formal no seu atelier desenvolve-se através de sucessivas manipulações de desenhos e modelos físicos, nas quais volumes, superfícies, espaços, massas e vazios são reiteradamente transformados antes da sua tradução digital (Lindsey, 2001). Kolarevic descreve, por sua vez, a posterior digitalização tridimensional destes modelos, através da qual a geometria capturada pode ser convertida em curvas e superfícies **NURBS** passíveis de análise, ajustes e desenvolvimento (Kolarevic, 2003, pp. 47–48). Sob a leitura proposta nesta investigação, o processo de Gehry permite reconhecer uma configuração inicialmente desenvolvida através da manipulação e Valoração das relações topológicas entre as suas partes, cuja posterior Formalização torna geometricamente explícitas e operáveis condições anteriormente estabelecidas por meios físicos.



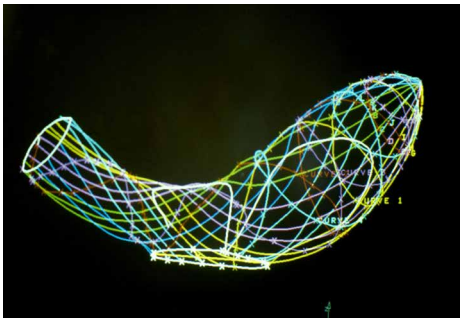


fig. 13,14

Gehry (Lewis Residence)
Physical design process model and geometrical frame developed in CATIA for the Peter B. Lewis Residence, Lyndhurst, Ohio.

Fonte: Lindsey (2001, pp. 59–65). Imagens digitais: Philadelphia Museum of Art e Canadian Centre for Architecture. Cortesia de Gehry Partners, LLP.

A coexistência destas relações pode igualmente ser reconhecida no **Terminal Internacional de Waterloo**, onde as dependências Associativas determinam propriedades particulares dos arcos e permitem que as alterações se propaguem pela cobertura, enquanto a continuidade do conjunto e a sequência das suas partes permanecem relações estruturantes através das diferentes configurações produzidas. Associativo e Topológico identificam aquilo sobre que a Valoração incide, enquanto a classificação Relacional continua a depender da precedência desta Valoração sobre a Delimitação e a Formalização. A distinção evita, deste modo, transformar a topologia numa categoria formal autónoma ou reduzir o Relacional à existência de dependências paramétricas.

Quando a Formalização deixa de operar subordinadamente sobre estas relações e passa a estabelecer as condições através das quais entidades, propriedades e operações podem ser explicitadas e manipuladas, altera-se novamente a precedência metodológica, passando a Formalização a ocupar a primeira ordem nos Sistemas Informacionais.

3.4
Sistemas Informacionais

Formalização

Sistemas Informacionais correspondem aos procedimentos projectuais nos quais a **Formalização** ocupa a primeira ordem metodológica, fazendo com que a explicitação de entidades, propriedades, relações e operações estabeleça prioritariamente as condições segundo as quais o projecto pode ser representado, manipulado e transmitido. Se nos Sistemas Prescritivos a Delimitação precede a determinação das instâncias e nos Sistemas Relacionais a Valoração pode transformar ou reabrir o domínio anteriormente estabelecido, a primeira ordem Informacional verifica-se quando a estrutura através da qual essas condições são formalizadas passa a determinar aquilo que pode ser reconhecido e operado pelo sistema. A classificação não decorre, portanto, da simples utilização de informação ou de meios computacionais, mas da precedência metodológica adquirida pela Formalização.

Precisar este critério torna-se necessário porquanto qualquer procedimento projectual alográfico depende de algum grau de formalização, ainda que apenas para transmitir as instruções necessárias à construção do objecto arquitectónico. Um tratado pode codificar graficamente tipos e regras, um modelo físico pode materializar relações entre elementos e um sistema paramétrico representar propriedades através de variáveis, sem que estas condições estabeleçam isoladamente uma primeira ordem Informacional. Esta ocorre quando a tradução do projecto para uma estrutura explícita deixa de funcionar apenas como registo subordinado à Delimitação ou à Valoração e passa a condicionar operacionalmente as entidades disponíveis, as propriedades que lhes podem ser atribuídas, as relações que podem estabelecer e as operações que sobre elas podem ser realizadas.

Importa salientar que informação e Formalização não são, neste sentido, equivalentes. Uma propriedade pode estar presente ou ser reconhecida num projecto sem se encontrar explicitamente descrita numa estrutura que permita a outro agente identificá-la e operar sobre ela. Formalizar implica estabelecer uma correspondência suficientemente explícita entre determinada condição projectual e uma estrutura através da qual esta possa ser reconhecida, relacionada ou transformada. O que caracteriza o Informacional não é a existência de informação, mas a precedência da estrutura que a torna operável.

Tal precedência tampouco pressupõe a computação digital. Como demonstrado na genealogia desenvolvida, a Formalização antecede historicamente a computação electrónica. A transformação introduzida por esta reside sobretudo na escala, velocidade e automatização com que estruturas formalizadas podem ser armazenadas, pesquisadas, executadas e modificadas. Carpo associa esta transformação à passagem de uma condição de escassez informacional, dependente de estratégias de compressão, para uma cultura de abundância de dados (Carpo, 2017, pp. 19–23). A computação não origina, portanto, os Sistemas Informacionais, mas amplia as condições

operativas através das quais a Formalização pode assumir precedência sobre as restantes operações projectuais.

Uma das consequências desta capacidade operativa ampliada reside na possibilidade de o projecto incidir não apenas sobre a determinação de uma instância, mas sobre a estrutura a partir da qual múltiplas instâncias podem ser produzidas. Esta condição encontra um precedente particularmente claro no conceito de ***objectile***[4] desenvolvido por Bernard Cache e posteriormente mobilizado por Deleuze, que o descreve como ***"a function that contains an infinite number of objects",*** remetendo para a definição matemática de Cache (Carpo, 2011, p. 91). Dentro dos limites propostos por esta investigação, o conceito permite reconhecer a precedência de uma estrutura que estabelece condições de variação para as suas instâncias, permitindo diferenciá-las sem redefinir integralmente o sistema que as produz.
À escala arquitectónica, esta lógica pode ser reconhecida nos ***datascapes***[5] desenvolvidos pelo **MVRDV**, nos quais condições regulamentares, ambientais, económicas ou sociais susceptíveis de quantificação são formalizadas antes da determinação de uma configuração particular. Kolarevic descreve como diferentes influências são convertidas em ***datascapes*** autónomos e posteriormente sobrepostas, produzindo um envelope espacial que incorpora possibilidades para a génese do projecto (Kolarevic, 2003, p. 33).

4.
Objectile designa, em Bernard Cache, um objecto variável pertencente a uma série na qual cada exemplar pode diferir, sem deixar de decorrer de uma mesma estrutura de possibilidades. Carpo retoma o conceito para descrever uma função paramétrica capaz de gerar múltiplas instâncias através da variação dos seus parâmetros (Cache, 1995; Carpo, 2011, pp. 40, 91).

5.
Kolarevic utiliza o termo datascapes, desenvolvido pelo MVRDV, para designar representações visuais de forças quantificáveis susceptíveis de influenciar a concepção e o desenvolvimento do projecto. No processo descrito, cada influência é representada separadamente e os diferentes datascapes são posteriormente sobrepostos, produzindo um envelope espacial de possibilidades (Kolarevic, 2003, pp. 33–34).

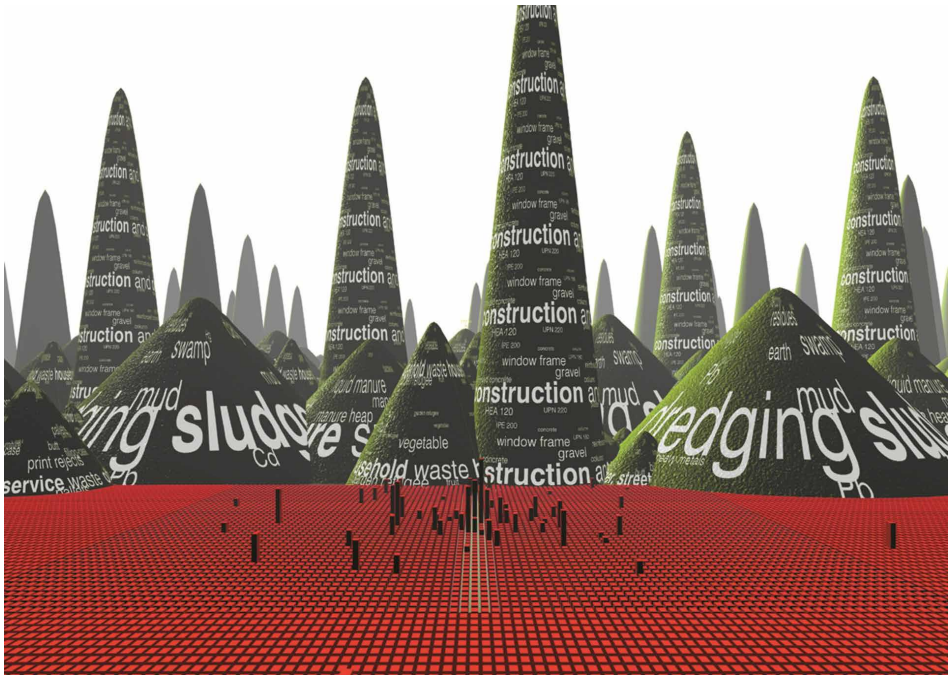


fig. 15

Metacity/Datatown.
Waste Sector, representação espacial de dados em Metacity/Datatown.

Fonte conceptual: Kolarevic (2003, p. 33).

Imagem: MVRDV (1999), Metacity/ Datatown. © MVRDV, Winy Maas, Jacob van Rijs e Nathalie de Vries.

Por sua vez, o **City Hall** de Londres, de **Foster + Partners**, oferece outro exemplo desta condição. Hugh Whitehead, arquitecto ligado ao **Specialist Modelling Group**, descreve como o grupo formalizou a configuração inicial através de um parametric ***pebble***, no qual um polígono de controlo foi associado a relações proporcionais que permitiam à equipa manipular a geometria e produzir alternativas para teste ao longo do desenvolvimento do projecto.

O modelo constituía, assim, uma estrutura variável a partir da qual diferentes configurações podiam ser produzidas e submetidas a estudos programáticos, geométricos e ambientais. Os pisos extraídos do modelo foram, por exemplo, utilizados para verificar o programa e calcular relações entre área útil e área bruta (***net-to-gross***), sendo os resultados novamente introduzidos no sistema paramétrico para orientar o seu desenvolvimento (Whitehead, 2003). Sob a óptica da taxonomia proposta, a primeira ordem Informacional neste caso reside na precedência desta estrutura formalizada sobre as sucessivas instâncias e Valorações que nela operam.

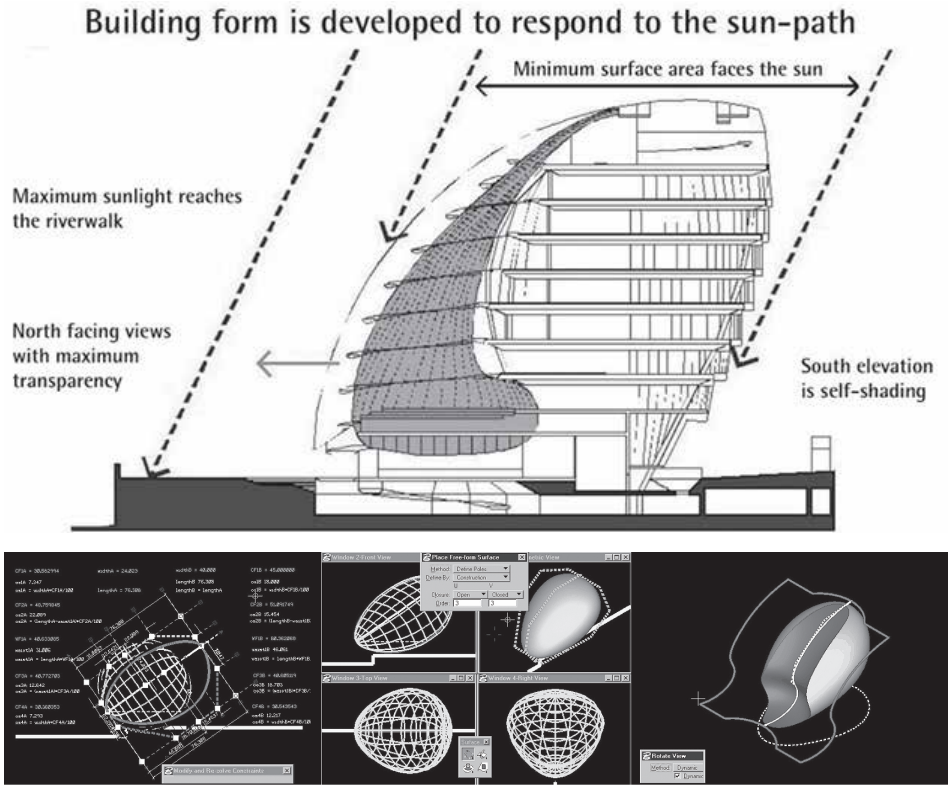


fig. 16,17

City Hall.
The "parametric pebble" and the sun illumination diagram for the City Hall building.

Fonte: Whitehead (2003, pp. 120–121, figs. 7.9a–c e 7.10), in Kolarevic (ed.), Architecture in the Digital Age.

Esta precedência da Formalização adquire maior extensão com o desenvolvimento e difusão de processos baseados em ***Building Information Modeling*** (***BIM***), nos quais entidades, propriedades e relações passam a integrar a estrutura informacional através da qual o edifício é descrito e operado. Sacks et al. distinguem a passagem do **CAD** para o **BIM** pelo facto de este separar a geração, compilação e armazenamento da informação da sua representação em documentos, permitindo produzir diferentes manifestações gráficas ou analíticas a partir de uma estrutura informacional comum (Sacks et al., 2022, pp. 1–2).

De forma convergente, Eastman et al. descrevem modelos constituídos por objectos digitais cujos atributos geométricos e não geométricos são computáveis e podem ser submetidos a regras paramétricas (Eastman et al., 2008, pp. 12–13). Plantas, cortes ou alçados podem, nesta condição, deixar de constituir os suportes primários nos quais a informação projectual é fixada, passando a corresponder a representações derivadas de uma estrutura que os antecede. Tal não estabelece, contudo, uma equivalência entre **BIM** e Sistema Informacional, cuja classificação continua a depender da precedência metodológica atribuída à Formalização.

Desta formulação decorrem duas consequências que estruturam os subcapítulos seguintes. Por um lado, relações, parâmetros e propriedades formalizados tornam-se operáveis dentro de domínios explicitamente estabelecidos, possibilitando a produção, transformação e análise de diferentes instâncias sem exigir a redefinição integral da estrutura que as produz. Por outro, a informação projectual pode ser estruturada de modo a tornar-se reconhecível e transmissível entre diferentes operações, aplicações e especialidades.

Os Sistemas Informacionais colocam, assim, simultaneamente um problema de operatividade interna e de interoperabilidade, desenvolvidos respectivamente nas secções seguintes.

Parâmetros, Algoritmos e Operações

Na passagem de uma estrutura representativa para outra capaz de manter parâmetros e relações operáveis, a Formalização da informação projectual assume uma função metodológica central. Esta passagem depende da forma como a informação é constituída no interior do sistema e de como entidades, propriedades e relações são identificadas e relacionadas para permanecerem disponíveis a operações subsequentes. A operatividade apresenta diferentes graus de complexidade, desde a identificação de uma entidade e das propriedades que lhe são associadas até ao estabelecimento de sequências de acções encadeadas, formalmente descritas por algoritmos. Esta distinção desloca a análise daquilo que a estrutura informacional representa para as condições de operatividade estabelecidas pela sua Formalização.

Uma condição elementar desta operatividade pode ser reconhecida na associação de informação a entidades identificáveis. Mitchell observa que o reconhecimento de um objecto depende da aplicação de um ***label*** que permite identificá-lo e, a partir daí, predicar as suas propriedades e especificar relações com outros objectos (Mitchell, 1990, p. 5). A utilização deste conceito não estabelece uma equivalência entre ***labels*** e os posteriores parâmetros ou propriedades dos modelos **BIM**, mas permite reconhecer uma condição fundamental dos Sistemas Informacionais, na qual informação projectual permanece associada a entidades e disponível para operações de reconhecimento, classificação, filtragem ou mensuração.

Para além da associação de propriedades a entidades particulares, a Formalização de parâmetros introduz um grau adicional de operatividade ao permitir que determinadas propriedades permaneçam variáveis dentro de domínios estabelecidos. Kolarevic descreve esta condição através de variáveis independentes e dependentes e de relações que exprimem determinadas quantidades como funções de outras, permitindo produzir diferentes configurações sem redefinir a estrutura que as relaciona (Kolarevic, 2003, pp. 24–25). Sob a leitura aqui proposta, o parâmetro não corresponde simplesmente a um valor particular, mas a um domínio de variação formalmente acessível às operações admitidas pelo sistema. Integrado numa relação de dependência, a alteração do seu valor pode propagar-se a outras propriedades, formalizando como dependências operáveis relações anteriormente discutidas nos Sistemas Relacionais.

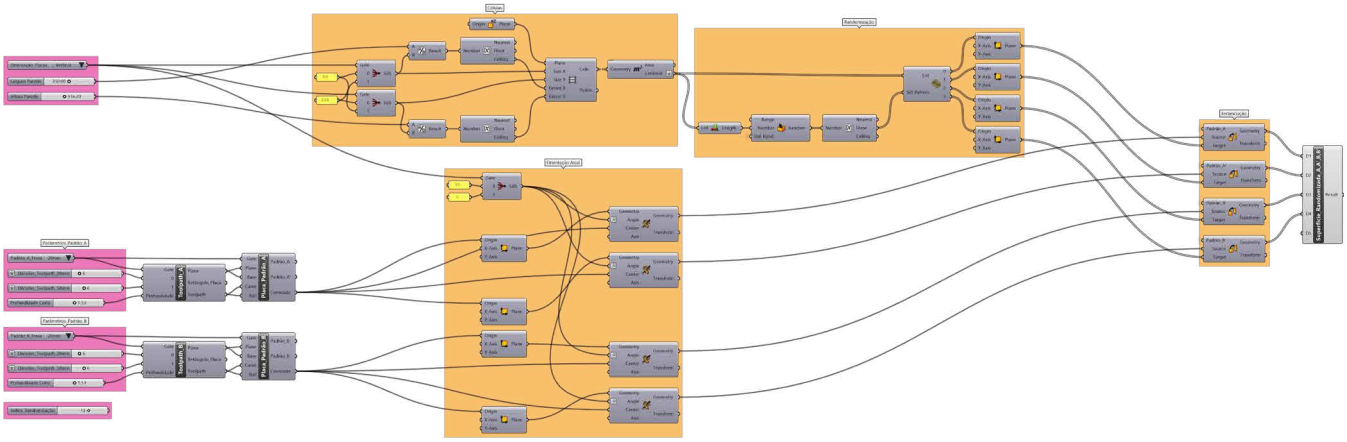


fig. 18

Parametrização e Instanciação. *Parametrização e Instanciação. Excerto da definição em Grasshopper desenvolvida durante a experimentação prática, mostrando parâmetros variáveis, relações de dependência e a produção de diferentes configurações a partir de uma estrutura comum.*

Fonte: elaboração própria.

A Formalização pode estender-se, por sua vez, aos próprios procedimentos que operam sobre estas entidades e propriedades. Quando uma sequência de operações, dependências e condições de progressão é explicitamente descrita, torna-se operável parte da lógica através da qual determinado estado do projecto pode ser produzido ou transformado. Carpo define o algoritmo, em sentido amplo, como um procedimento desenvolvido passo a passo para resolver um problema ou alcançar determinado fim (Carpo, 2017, p. 166).

A sequência não necessita de assumir uma progressão exclusivamente linear, podendo ramificar-se segundo condições, reiterar operações ou incorporar processos recursivos, desde que permaneçam formalizadas as condições da sua progressão. Em ambientes computacionais, esta estrutura pode ser codificada e reiteradamente executada, permitindo recalcular operações dependentes perante a alteração das entradas sem redefinir individualmente cada transformação.

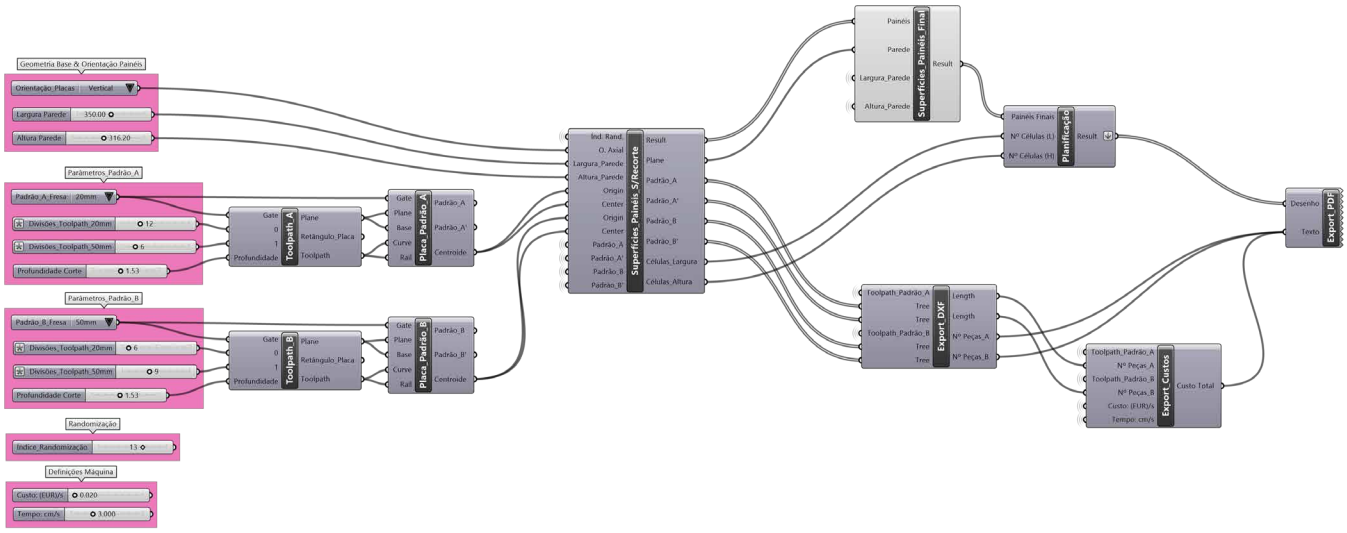
Importa, contudo, distinguir a formalização algorítmica de um procedimento do protocolo projectual que este pode operacionalizar. Os protocolos definidos nesta investigação correspondem às operações metodológicas através das quais o projecto progride, enquanto o algoritmo formaliza uma lógica segundo a qual determinadas operações podem ser executadas e relacionadas. Delimitar, Valorar ou Formalizar não constituem, por si só, algoritmos, embora possam ser parcial ou integralmente operacionalizados através de procedimentos algorítmicos quando as suas entradas, operações e relações são suficientemente explicitadas. Inversamente, uma única cadeia algorítmica pode articular diferentes protocolos segundo ordens metodológicas distintas. O algoritmo não substitui, portanto, o protocolo projectual, mas estabelece condições para que parte das operações que o constituem possa ser explicitamente encadeada e executada.

A possibilidade de operar sobre uma estrutura formalizada não implica, porém, acesso integral aos procedimentos que a constituem. Propriedades, relações e operações podem permanecer expostas ou encapsuladas, permitindo que um agente altere determinados valores sem aceder aos mecanismos que estabelecem o seu domínio de transformação. O grau de exposição varia entre sistemas que tornam directamente acessíveis relações e procedimentos, como o **Grasshopper**, e aplicações como **Revit** ou **Archicad**, nas quais parte dessa lógica pode permanecer incorporada ou ser disponibilizada através de parâmetros e mecanismos previamente definidos. Distintos níveis de exposição permitem, deste modo, operar sobre valores, relações ou procedimentos sem que estas capacidades sejam necessariamente coincidentes.

fig. 19

Encapsulamento e Exposição Operativa. *Excerto da definição em Grasshopper desenvolvida durante a experimentação prática, no qual diferentes procedimentos são agrupados em clusters, expondo apenas determinadas entradas e saídas à operação no nível principal do algoritmo.*

Fonte: elaboração própria.



Os diferentes níveis de intervenção tornam-se especialmente relevantes quando as **condições de viabilidade** são incorporadas na própria estrutura operativa. Propriedades materiais, relações construtivas, requisitos de desempenho, dimensões e tolerâncias podem ser formalizados de modo a permitir que determinadas transformações sejam confrontadas com as condições da sua realização enquanto a configuração permanece operável.

Quando estas condições se estendem aos processos produtivos, a variação das instâncias pode aproximar-se directamente da sua materialização, encontrando continuidade na customização em massa e nos processos ***file-to-factory***, através dos quais a informação digital utilizada para determinar

uma instância pode participar igualmente da sua fabrico. Carpo associa as tecnologias **CAD/CAM** e ***file-to-factory*** à possibilidade de produzir séries de variações através de processos digitais sem recorrer às matrizes fixas características da produção mecânica em massa (Carpo, 2011, pp. 93–106), enquanto Kolarevic situa esta continuidade na aproximação entre concepção e produção através da extracção e transmissão da informação projectual para processos de fabrico digital. A viabilidade pode, assim, deixar de constituir exclusivamente uma verificação posterior e participar das condições formalizadas dentro das quais a configuração permanece susceptível de transformação.

A ampliação desta operatividade introduz, contudo, uma condição adicional quando entidades, parâmetros, restrições e procedimentos deixam de permanecer circunscritos a um único ambiente informacional. Projectistas, engenheiros, fabricantes e aplicações especializadas podem operar sobre diferentes partes ou representações de uma mesma estrutura através de sistemas nem sempre directamente compatíveis entre si, exigindo que a informação necessária às suas operações possa ser reconhecida e coordenada quando transmitida entre diferentes ambientes.

A operatividade deixa de depender apenas da estrutura interna pela qual cada sistema formaliza entidades, propriedades e procedimentos e passa a depender também das condições que permitem reconhecer e coordenar informação entre aplicações e especialidades. O problema Informacional desloca-se, assim, da operatividade interna para a interoperabilidade da informação e a coordenação entre múltiplos agentes projectuais, desenvolvidas na secção seguinte.

Interoperabilidade

Coordenação e Decisões Distribuídas

Em projectos cada vez mais complexos e colaborativos, envolvendo múltiplos agentes, a operatividade interna da informação formalizada não garante a sua interoperabilidade entre diferentes plataformas projectuais. Assim, um sistema pode representar entidades, propriedades e relações de forma suficientemente explícita para executar procedimentos internos e, ainda assim, organizá-las segundo estruturas que outros sistemas não são capazes de interpretar.

A **interoperabilidade** coloca, deste modo, um problema complementar à Formalização. Para que diferentes aplicações e agentes disciplinares possam operar sobre a informação projectual, não basta transmitir dados organizados, sendo necessário estabelecer correspondências entre as estruturas segundo as quais estes são organizados e reconhecidos pelos diferentes agentes, disciplinas e sistemas computacionais envolvidos.

Por efeito, a multiplicação de aplicações proprietárias tornou esta correspondência um problema concreto de intercâmbio. Eastman et al. descrevem como, entre o final da década de 1970 e o início da década de 1980, a troca entre diferentes sistemas **CAD** dependia de tradutores específicos entre formatos, cuja multiplicação e custos de manutenção levaram a própria indústria e organismos públicos a promover formatos comuns de intercâmbio.

Deste esforço resultou o ***Initial Graphics Exchange Specification*** (**IGES**), um formato público destinado a reduzir a dependência de conversões bilaterais entre aplicações, seguido posteriormente pelo esforço internacional **STEP**[6], orientado para modelos neutros de dados de produto e apoiado na linguagem **EXPRESS** para a descrição formal de objectos, propriedades, processos e relações (Eastman et al., 2008, pp. 65–70).

Este processo de normalização encontraria, no domínio da arquitectura, engenharia e construção (**AEC**), uma continuidade no desenvolvimento das ***Industry Foundation Classes*** (**IFC**), destinadas à representação e partilha de dados do ambiente construído através de uma estrutura independente das aplicações que produzem ou recebem a informação. Diferentemente de formatos centrados predominantemente na geometria, o **IFC** organiza

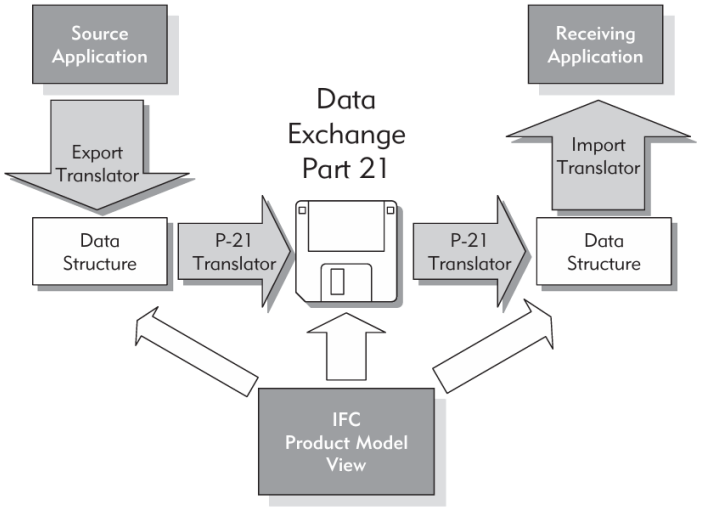
6.
STEP (STandard for the Exchange of Product Model Data) corresponde à norma ISO 10303, desenvolvida para permitir a representação e o intercâmbio de modelos complexos de produto. Entre as tecnologias produzidas neste âmbito encontra-se EXPRESS, uma linguagem formal e legível por máquina para a descrição de entidades, propriedades, relações, regras e restrições, posteriormente utilizada na definição do IFC (Eastman et al., 2008, pp. 70–73).

entidades, atributos, tipos, propriedades e relações segundo um modelo comum, permitindo que uma parede, por exemplo, seja transmitida enquanto entidade reconhecível como parede, acompanhada pelas propriedades e relações previstas pelo esquema (Eastman et al., 2008, pp. 71–78; ISO 16739:2013). A sua relevância para esta investigação reside precisamente nesta precedência da Formalização, uma vez que a possibilidade de troca depende da descrição prévia da informação segundo uma estrutura partilhada.

fig. 20

Interoperabilidade IFC.
A scenario of the most common type of IFC exchange between two applications.

Fonte: Eastman et al. (2008, p. 79, fig. 3-3).



Apesar desta normalização, a existência de uma estrutura comum não implica correspondência operacional integral entre os sistemas envolvidos. Uma troca pode preservar geometria, propriedades e relações sem transferir todos os procedimentos, dependências ou comportamentos através dos quais determinada configuração foi produzida. Eastman et al. observam que aplicações **BIM** podem possuir tradutores **IFC** e, ainda assim, trocar pouca informação útil devido às diferenças entre as suas estruturas proprietárias. As ***IFC Views***[7] respondem parcialmente a esta condição ao delimitar subconjuntos do esquema destinados a tarefas e fluxos específicos, explicitando qual informação necessita de ser disponibilizada para determinada operação (Eastman et al., 2008, pp. 79–85).

O problema da interoperabilidade não se limita, todavia, à transmissão de informação entre duas aplicações, estendendo-se à possibilidade de integrar e coordenar dados provenientes de diferentes sistemas. Eastman et al. descrevem ***building model repositories*** destinados a gerir informação proveniente de aplicações heterogéneas, enquanto aplicações de integração e coordenação, como ***Solibri Model Checker*** e ***Navisworks***, permitem reunir modelos e submetê-los a procedimentos de visualização, verificação e detecção de incompatibilidades (Eastman et al., 2008, pp. 88–90, 218). Estes mecanismos permitem, assim, que informação produzida separadamente seja reunida e confrontada num ambiente comum de coordenação.

A isto acresce que a capacidade de trocar e verificar informação também não esgota o problema da coordenação. Sacks et al. observam que a colaboração multidisciplinar em **BIM** continua condicionada pela insuficiente explicitação semântica do ***design intent***, pela manutenção manual da consistência entre modelos, pela gestão de variantes baseada em ficheiros e pela interoperabilidade imperfeita entre aplicações (Sacks et al., 2022, pp. 1–2). Como resposta, propõem o ***Cloud BIM*** ou **CBIM**, no qual modelos disciplinares são representados através de ***knowledge graphs*** e relacionados por uma ontologia destinada a explicitar relações entre objectos dentro e entre disciplinas, como anteriormente ilustrado na **Figura 4**.

O enriquecimento semântico permite reconhecer relações de localização, geometria, topologia e ***design intent***, detectar inconsistências e propor correcções sujeitas à aprovação dos utilizadores (Sacks et al., 2022). Relações

7.
A designação IFC Views é mantida nesta passagem por corresponder à terminologia utilizada por Eastman et al. (2008) para subconjuntos específicos do IFC destinados a determinados fluxos de intercâmbio. No restante trabalho adopta-se a designação Model View Definition (MVD).

que poderiam permanecer implícitas passam, deste modo, a constituir informação explicitamente operável entre diferentes domínios disciplinares.

A explicitação destas relações aproxima a interoperabilidade do problema mais amplo da organização das decisões distribuídas. Parrish et al. contrapõem ao desenvolvimento sucessivo de soluções pontuais uma abordagem ***set-based,*** na qual diferentes participantes intervêm sobre espaços de soluções mantidos abertos e progressivamente restringidos, como anteriormente ilustrado na **Figura 2**. A identificação dos participantes relevantes, das condições que cada um considera e das razões para eliminar subconjuntos passa, assim, a integrar o próprio processo de decisão, deslocando o problema da consistência da informação para a organização das intervenções que participam na transformação do projecto (Parrish et al., 2007, pp. 213–221).

No âmbito desta organização distribuída das decisões, o **FCDA** de Khedro, Genesereth e Teicholz constitui um precedente complementar ao organizar equipas compostas por especialistas e agentes computacionais numa arquitectura federada, como anteriormente ilustrado na **Figura 1**. Os diferentes participantes tomam decisões autonomamente e mantêm conhecimento parcial das condições consideradas pelos restantes, enquanto mecanismos de comunicação e coordenação permitem trocar informação e identificar conflitos resultantes de decisões que afectam dados partilhados ou violam restrições de outros agentes. A coordenação passa, deste modo, a abranger não apenas o reconhecimento da informação, mas as operações de diferentes agentes sobre ela e os conflitos decorrentes da sua actuação distribuída (Khedro, Genesereth & Teicholz, 1993, pp. 67–70).

Estes desenvolvimentos permitem reconhecer uma progressiva ampliação da coordenação projectual, desde a interoperabilidade e verificação da informação até à explicitação de relações interdisciplinares, organização de espaços de soluções e coordenação de operações distribuídas. Permanece, contudo, uma questão anterior à própria distribuição disciplinar do projecto. A interoperabilidade sintáctica e semântica, a coordenação entre participantes e a identificação de conflitos não estabelecem, por si só, o objectivo arquitectónico segundo o qual as diferentes condições projectuais devem ser confrontadas. Na sistemática proposta ao longo deste trabalho, esse objectivo informa a estratégia projectual, a partir da qual a Taxonomia estabelece a precedência entre os protocolos estruturantes e orienta decisões situadas perante diferentes contingências.

Deste modo, com múltiplos agentes projectuais e computacionais mobilizados em diferentes domínios de um mesmo projecto, a sua actuação distribui-se por áreas de competência, sistemas computacionais e ambientes físicos distintos. A consolidação de entrepostos projectuais para a troca de informação e a disponibilização de capacidades de transformação coloca, assim, a necessidade de orientar esta mediação segundo a estratégia e a precedência estabelecidas a partir dos objectivos e requisitos do projecto.

Perante esta condição colaborativa, mediada por diferentes sistemas e entrepostos, propõe-se uma estrutura capaz de relacionar essas operações distribuídas com a orientação metodológica do projecto, o **Architectonic Middleware.**

04

Architectonic Middleware

Uma Metodologia Baseada em Precedências,

da Intenção Projectual à Agência Distribuída

Mediação

Architectonic Middleware

Requisitos Projetuais

Architetonic Middleware

formaliza

Objectivos projectuais

estrutura

Estratégia Projectual

define

Precedências

hieraquiza

P-R-I

coordena

Configuradores paramétricos

Viabilidade material e produtiva

Agência distribuída

Coordenação entre agentes

Níveis de acesso

Entrepostos projectuais

Interoperabilidade entre sistemas

Gestão de conflitos projetuais

Coerência entre intervenções

Acção Situada

Projecto

A prática da Arquitectura e o papel do arquitecto, desde a condição alográfica discutida até à condição contemporânea de múltiplas agências, sofreram mudanças paradigmáticas. Permanece, todavia, uma condição basilar da prática, assente na capacidade de coordenar conhecimentos e articular diferentes especialidades, sistemas construtivos, requisitos e restrições sem deter integralmente o conhecimento específico de cada domínio. Davis e Peters (2013) reconhecem nesta capacidade de coordenação uma característica própria da profissão, observando que o arquitecto não necessita de dominar cada domínio, mas de compreender o suficiente para articular as suas contribuições e preservar a coerência geral do projecto.

Neste contexto, a expansão dos ambientes computacionais acrescenta uma nova dimensão a esta função, uma vez que à coordenação do projecto e da construção se junta a do código e do próprio ambiente através do qual o projecto é produzido, fazendo com que ***scripts***, ***plugins*** e componentes desenvolvidos por diferentes autores passem a integrar um ambiente de projecto continuamente reconfigurado.

Esta transformação amplia o alcance da coordenação à medida que aumenta o número e a natureza dos agentes capazes de intervir sobre o projecto. Arquitectos, engenheiros, fabricantes, clientes e construtores actuam sobre domínios distintos, enquanto aplicações, algoritmos, plataformas colaborativas e máquinas de fabrico executam operações sobre informação projectual formalizada. A agência distribui-se por intervenientes humanos e computacionais que não actuam necessariamente sobre a mesma representação, não dispõem do mesmo conhecimento nem possuem capacidades equivalentes de intervenção. Esta assimetria exige entrepostos capazes de transmitir, traduzir ou disponibilizar selectivamente informação e capacidades de transformação. A questão deixa então de incidir apenas sobre a transmissão da informação e passa a compreender as condições segundo as quais diferentes participantes podem operar sobre o projecto sem que a sua coerência dependa do conhecimento integral de cada domínio por um único agente.

Em sentido informático amplo, o termo ***middleware***[1] designa precisamente uma condição de mediação através da qual sistemas heterogéneos podem comunicar ou aceder a determinadas capacidades sem operar directamente sobre a totalidade das estruturas que as suportam. Esta necessidade acompanha a progressiva distribuição da informação e das operações projectuais observada no capítulo anterior, desde os modelos BIM e protocolos de interoperabilidade aos ambientes paramétricos e plataformas colaborativas. Desta feita, face à crescente capacidade de formalizar e distribuir operações projectuais e às lacunas então identificadas, propõe-se nesta investigação a transposição do conceito para o contexto arquitectónico através do **Architectonic Middleware.**

A qualificação ***architectonic***[2] não decorre apenas da sua aplicação à Arquitectura, mas da função ordenadora atribuída à estrutura proposta. Enquanto o ***middleware*** estabelece sobretudo condições de mediação e comunicação entre sistemas, o **Architectonic Middleware** procura orientar essa mediação segundo uma estratégia projectual anterior às operações que articula, relacionando-as com os objectivos e precedências que estruturam o projecto. A mediação deixa, assim, de responder apenas à possibilidade técnica de comunicação ou transformação e passa a considerar a ordem de precedência segundo a qual essas operações adquirem pertinência no projecto, sobretudo perante situações de revisão ou conflito.

1.
Eastman et al. referem, no contexto da interoperabilidade AEC, capacidades de interface de middleware utilizadas para estabelecer ligações directas entre aplicações e tornar partes dos respectivos modelos acessíveis a operações de criação, exportação, modificação ou eliminação (2008, p. 67). A expressão Architectonic Middleware constitui, contudo, uma transposição proposta na presente investigação e não uma categoria dos autores.

2.
Architectonic é aqui utilizado no sentido kantiano de uma organização sistemática do conhecimento segundo uma ideia que determina a priori a posição e a relação das partes no interior de um todo. O termo não designa, portanto, apenas aquilo que pertence à arquitectura enquanto disciplina, mas uma estrutura na qual as partes adquirem sentido através das relações que mantêm com o sistema que as organiza (Kant, Critique of Pure Reason, A832/B860–A833/B861).

Para esse efeito, a Taxonomia P/R/I desenvolvida no capítulo anterior constitui a estrutura metodológica do Architectonic Middleware, através da qual os objectivos e requisitos do projecto são relacionados com uma hierarquia entre os protocolos estruturantes antes da distribuição das operações pelos diferentes agentes. Delimitação, Valoração e Formalização coexistem numa mesma estrutura e distinguem-se pela primeira, segunda e terceira ordens que assumem em função da estratégia projectual. É esta precedência que o **Architectonic Middleware** procura manter operativa quando as operações se distribuem por diferentes agentes, preservando a referência estabelecida pelos objectivos e pela estratégia do projecto.

Não obstante, esta formulação não pressupõe uma infraestrutura computacional específica nem a substituição dos mecanismos existentes de interoperabilidade, colaboração ou coordenação. **BIM**, ambientes paramétricos, sistemas generativos, plataformas **CAx**[3] ou estruturas colaborativas podem constituir diferentes suportes para operações distribuídas sem representarem uma condição necessária desta estrutura. O problema situa-se a montante dessas implementações e consiste em relacionar as capacidades disponibilizadas por diferentes ambientes com os critérios metodológicos segundo os quais estas adquirem pertinência no projecto. Muitos dos mecanismos necessários a esta articulação encontram precedentes em modelos já desenvolvidos para a colaboração multidisciplinar, ainda que orientados por propósitos distintos.

Entre estes precedentes, o **FCDA**, de Khedro, Genesereth e Teicholz (1993), organiza especialistas e agentes computacionais distribuídos que actuam autonomamente, mantêm conhecimento parcial das condições consideradas pelos restantes e coordenam decisões através de informação, restrições, conflitos, negociação e autoridade. O modelo distingue ***hard*** e ***soft constraints*** e prevê procedimentos de resolução quando a alteração produzida por um participante viola condições mantidas por outro, sem estabelecer uma precedência metodológica entre essas condições a partir dos objectivos gerais do projecto (Khedro, Genesereth & Teicholz, 1993, pp. 67–69, 75–76).

O ***Set-Based Design***, por sua vez, permite que diferentes participantes intervenham sobre espaços de soluções mantidos abertos e progressivamente restringidos segundo exigências dos seus domínios, adiando o compromisso com uma solução particular enquanto permanecem alternativas viáveis. Parrish et al. (2007, pp. 215–221) demonstram ainda que este processo pressupõe identificar previamente os participantes relevantes para a decisão e aqueles que por ela serão afectados, também sem explicitar uma precedência global entre essas condições a partir dos objectivos projectuais.

Num desenvolvimento posterior, o **CBIM** proposto por Sacks et al. (2022, pp. 9–12) aproxima esta problemática da coordenação multidisciplinar semanticamente enriquecida. A representação dos modelos disciplinares através de ***knowledge graphs*** e a sua articulação por uma ontologia destinada a formalizar relações entre objectos dentro e entre domínios permitem explicitar condições anteriormente implícitas nas representações **BIM** convencionais, incluindo relações espaciais e de ***design intent***. Estas podem ser utilizadas para detectar inconsistências, informar os participantes e propor alterações sujeitas à sua aprovação. O **CBIM** avança, desta maneira, na formalização de intenções que orientam operações sobre o projecto, embora permaneça circunscrito às relações representadas e às funções de coordenação que sobre elas operam.

Assim, os três precedentes permitem precisar a posição da presente investigação. O **FCDA** formaliza mecanismos de coordenação entre agentes, restrições, conflitos, negociação e autoridade, o ***Set-Based Design*** organiza a participação na manutenção e redução progressiva de espaços de soluções e o **CBIM** explicita relações interdisciplinares para permitir operar computacionalmente sobre elas e avaliar a sua consistência. Na literatura analisada, contudo, não foi identificada nestas abordagens uma organização equivalente à **precedência P/R/I,** estabelecida pela estratégia projectual a

3.
CAx é aqui utilizado como designação agregadora para diferentes aplicações computacionais de apoio ao projecto, engenharia e produção, incluindo ambientes CAD e outras ferramentas especializadas. Moncur emprega o termo neste sentido abrangente ao discutir ambientes colaborativos constituídos por diferentes aplicações computacionais de projecto (2012).

partir dos objectivos arquitectónicos e destinada a orientar decisões perante contingências em processos colaborativos. A contribuição procurada pelo **Architectonic Middleware** situa-se, portanto, num nível metodológico anterior a estes mecanismos, procurando articulá-los sem os substituir e preservar uma referência comum quando as operações projectuais se distribuem por múltiplos agentes e entrepostos.

Níveis de Acesso

Configuradores

A distribuição da agência projectual compreende também situações em que os participantes não operam directamente sobre os mesmos modelos ou ambientes partilhados, incluindo agentes não especialistas ou exteriores ao processo de projecto. Determinadas capacidades de transformação podem ser selectivamente disponibilizadas através de interfaces que medeiam o acesso à estrutura que as produz.

Entre os dispositivos que, nos termos desta investigação, podem funcionar como entrepostos projectuais encontram-se os ***toolkits***[4] e configuradores, que permitem explorar e transformar produtos dentro de espaços de possibilidades previamente estruturados. Frequentemente disponibilizados através de plataformas ***online***, estes permitem que utilizadores não especialistas intervenham sobre estruturas desenvolvidas por outros agentes, estabelecendo uma assimetria entre as capacidades de transformação que lhes são disponibilizadas e o acesso à estrutura que as determina. Castro e Costa et al. (2020, pp. 163–168) distinguem os ***combinatorial configurators***, baseados na selecção e combinação de opções discretas, dos ***parametric configurators***, nos quais variáveis do modelo são expostas à manipulação do utilizador. Enquanto os primeiros circunscrevem a intervenção a possibilidades previamente delimitadas, os segundos podem expor um domínio mais amplo de configurações, tornando crítica a definição das condições segundo as quais estas permanecem admissíveis.

Esta segunda condição adquire particular relevância para a presente investigação através do **ShapeDiver**, plataforma ***online*** utilizada durante a experimentação prática para disponibilizar selectivamente parâmetros de um modelo desenvolvido em **Grasshopper**, mantendo subjacente a estrutura paramétrica que delimita e relaciona essas possibilidades (Castro e Costa et al., 2020, p. 168).

Nessa condição, a sua aplicação contribuiu para a construção da metodologia e da taxonomia desenvolvidas, através da definição de domínios e condições de intervenção informados pelos objectivos e requisitos projectuais. Castro e Costa et al. (2020, pp. 160–162) exploram uma assimetria semelhante através do desenvolvimento do Design ***Participation Model***, um modelo de participação apoiado por aplicações computacionais que articula ***Shape Grammar, Modeler e Navigator***. No **Modeler**, o projectista, a partir da ***shape grammar*** que estrutura o domínio formal, desenvolve o modelo paramétrico e delimita o espaço de soluções posteriormente disponibilizado, enquanto no **Navigator** o utilizador final explora esse subespaço sem manipular directamente a estrutura paramétrica que o produz. Sob a perspectiva da presente investigação, esta separação torna explícita a relação entre diferentes níveis de acesso e domínios de transformação, sem que estes devam ser confundidos com autoridade sobre as condições que os delimitam.

4.
Na literatura sobre customização em massa, toolkit designa geralmente uma aplicação que permite ao utilizador explorar ou modificar soluções dentro de um espaço de possibilidades previamente estruturado, termo frequentemente usado em proximidade com configurator (Castro e Costa et al., 2020).

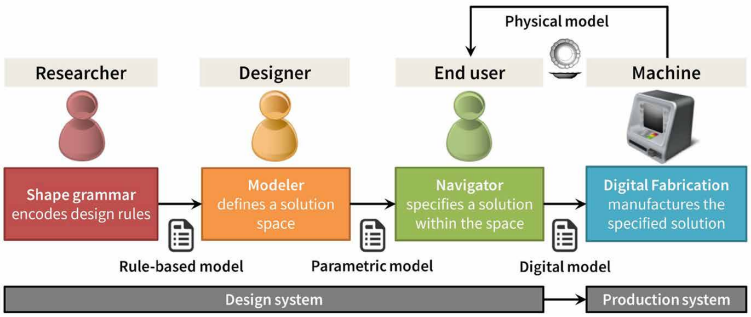


fig. 21

Design Participation Model.
Design Participation Model for the design system.

Fonte: Castro e Costa et al. (2020, p. 4, fig. 1).

fig. 22,23,24

Configuradores paramétricos.
Cell Cycle web-based interface; Sake Set Creator interface; Thingiverse Customizer interface.

Fonte: Castro e Costa et al. (2020, figs. 2, 3 e 5).

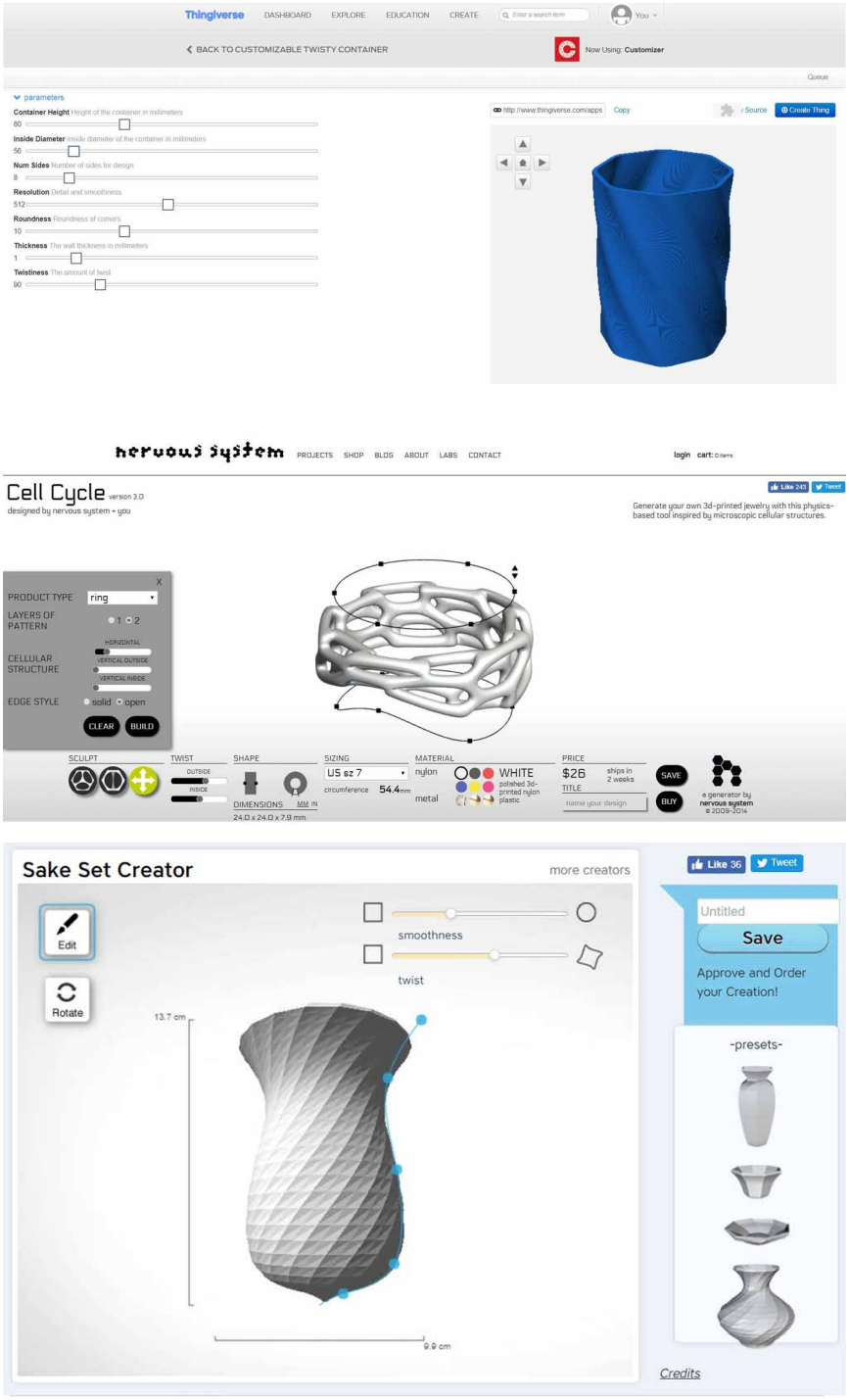
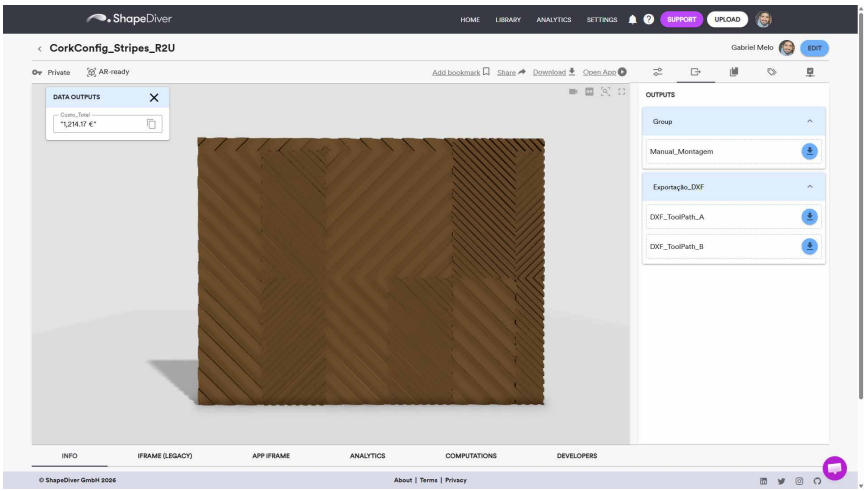


fig. 25

ShapeDiver.
Interface do configurador paramétrico desenvolvido no âmbito do projecto R2U Technologies.

Fonte: Captura de ecrã do autor (2026).



Neste enquadramento, a diferenciação anteriormente estabelecida introduz níveis de acesso que não correspondem apenas a permissões informáticas sobre dados ou ficheiros, mas ao alcance da intervenção sobre a estrutura projectual, desde a consulta e selecção combinatória de configurações até à manipulação de parâmetros ou redefinição das relações que os condicionam. Mecanismos previamente analisados, como as **IFC *Views***, já permitem delimitar a informação disponibilizada, pelo que a diferenciação do acesso não constitui, por si mesma, uma contribuição da proposta. Configuradores paramétricos adquirem outra dimensão na condição aqui estabelecida de entreposto projectual quando operacionalizam capacidades de transformação sobre estruturas que permanecem apenas parcialmente acessíveis. Nestes casos, o acesso a determinada operação não implica competência técnica ou autoridade equivalentes sobre o domínio em causa.

Por conseguinte, a distribuição destas capacidades exige distinguir acesso, competência, autoridade e responsabilidade projectual. O acesso determina aquilo sobre o qual cada participante pode operar, a competência corresponde ao conhecimento necessário para essa intervenção e a autoridade estabelece quem pode decidir sobre as condições que a delimitam ou sobre a sua eventual revisão. Torna-se, assim, necessário explicitar não apenas as capacidades disponibilizadas, mas as condições segundo as quais podem ser exercidas e a responsabilidade associada à admissibilidade das transformações produzidas e à sua coerência com o projecto no seu conjunto. Na literatura analisada sobre customização em massa e protocolos de interoperabilidade não foi identificado um fundamento metodológico comum que relacione estas condições de acesso com os objectivos e precedências projectuais. É no enquadramento das consequências projectuais desta assimetria, e não na diferenciação técnica do acesso em si mesma, que se situa a lacuna que a presente investigação procura preencher.

Perante estas diferentes condições, a posição do arquitecto pode variar entre a autoria, a curadoria e a utilização dos entrepostos projectuais. Enquanto autor, numa condição próxima daquela anteriormente caracterizada a partir de Davis e Peters como arquitecto-programador, pode estruturar parâmetros, relações, regras e limites que definem um domínio de transformação. Enquanto curador, pode operar sobre um domínio já estruturado, confrontando alternativas, avaliando resultados e seleccionando configurações sem necessitar de dominar a estrutura especializada que as produz. Como utilizador, pode recorrer a capacidades formalizadas por fabricantes, consultores ou outros intervenientes, actuando sobre parâmetros e domínios cuja estrutura não definiu e sobre a qual possui acesso limitado. Estes modos de actuação não constituem papéis profissionais autónomos nem correspondem necessariamente a participantes diferentes. Num sistema de fachada, por exemplo, o mesmo arquitecto pode estruturar o domínio paramétrico, avaliar alternativas relativas à posição e dimensão das janelas e recorrer a componentes disponibilizados através de um catálogo parametrizado por um fabricante.

A distribuição destas capacidades exige, todavia, que a abertura do domínio seja acompanhada por condições capazes de manter a viabilidade das transformações disponibilizadas. Bakhshi et al. (2022, pp. 8–10) demonstram esta condição através da integração entre **BIM**, **DfMA** e customização, na qual relações funcionais entre elementos e requisitos de produção e montagem condicionam as opções apresentadas ao cliente. O algoritmo articula a arquitectura de produto formalizada no ***Prefabrication Information Model*** (**PIM**) com informação de montagem e verifica as relações entre elementos antes de os apresentar como possibilidades de customização. Quando determinada relação não satisfaz as condições de montagem, a alternativa correspondente deixa de ser disponibilizada. A escolha ocorre, portanto, sobre um domínio previamente condicionado pelas relações técnicas que sustentam a sua admissibilidade. Este precedente permite deslocar a discussão dos níveis de acesso para as condições que devem permanecer válidas quando essas capacidades são exercidas por outros agentes, estabelecendo a passagem para o problema da viabilidade do domínio disponibilizado.

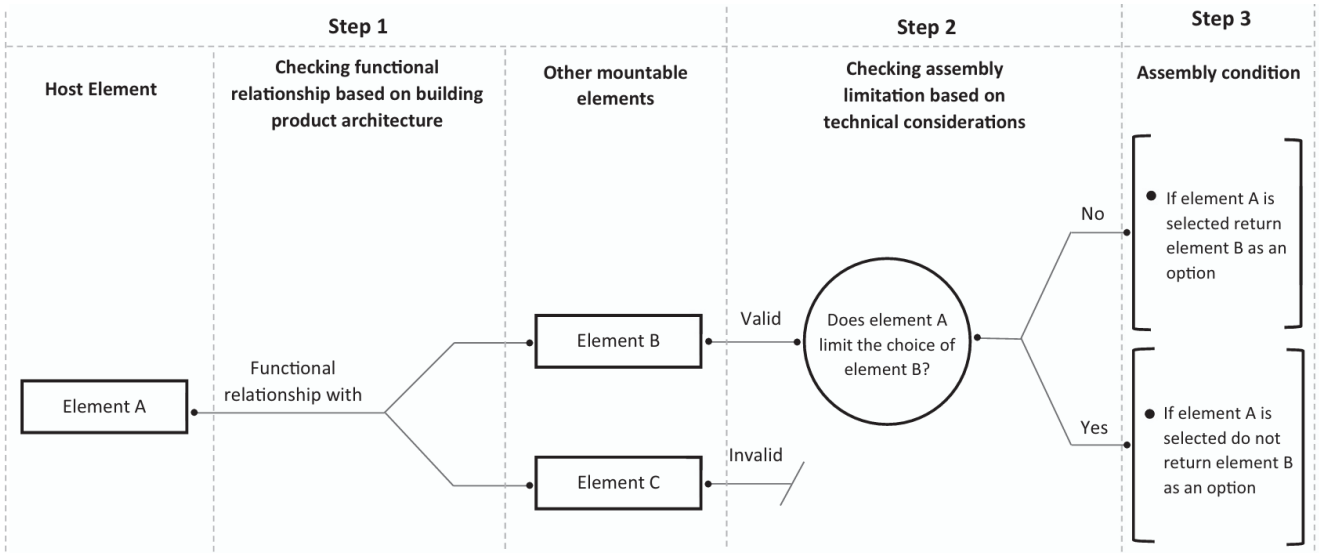


fig. 26

Limitação de montagem entre elementos.
The concept of the assembly limitation between building elements.
Fonte: Bakhshi et al. (2022, p. 10, fig. 8).

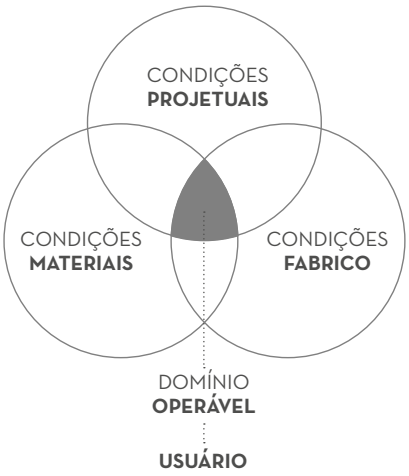
No âmbito desta investigação, a relação de confiança implícita entre o utilizador e a viabilidade das configurações estabilizadas através da interface do configurador é compreendida como um Contrato de Viabilidade. A disponibilização de um domínio de possibilidades pressupõe que qualquer configuração resultante dos parâmetros acessíveis permaneça viável e admissível perante as condições que legitimaram a sua exposição. Ao utilizador não cabe conhecer ou verificar as relações formais, técnicas, produtivas ou projectuais que sustentam essa admissibilidade, podendo assumir que uma configuração estabilizada satisfaz as condições incorporadas na estruturação do domínio. A responsabilidade por assegurar a coerência e, quando aplicável, a fabricabilidade das configurações resultantes recai sobre os agentes que estruturam e legitimam esse domínio, aos quais cabe impedir que as capacidades expostas permitam estabilizar soluções incompatíveis com as condições que devem preservar.

O termo não corresponde a um documento contratual nem constitui um novo protocolo, mas designa a relação entre o domínio de transformação disponibilizado e as condições que asseguram a admissibilidade dos seus resultados. Estas podem abranger desde a coerência formal entre ocorrências, como observado na Malagueira, até à viabilidade técnica e produtiva demonstrada por Bakhshi et al. (2022, pp. 8–10).

Contrato de Viabilidade

O Contrato de Viabilidade estabelece aquilo que permanece admissível dentro de determinado domínio, mas não determina, por si mesmo, as precedências que devem orientar a sua definição nem, consequentemente, quais parâmetros devem ser expostos ou sob que limites. Uma configuração pode ser fabricável e estruturalmente admissível sem preservar a coerência global estabelecida pelos objectivos e pela estratégia do projecto. Do mesmo modo, a capacidade de um configurador para filtrar determinadas configurações não estabelece quais condições devem informar esse filtro nem segundo que precedência devem ser preservadas ou reconsideradas. Num sistema **R-P-I**, como anteriormente exemplificado através de uma sala de concertos, uma configuração obtida pela manipulação de relações geométricas através de um configurador paramétrico poderia permanecer estrutural e materialmente viável e, ainda assim, tornar-se inadmissível caso comprometesse uma condição acústica estabelecida durante a Valoração, prioritária perante a Delimitação. A precedência exigiria, neste caso, ajustar o domínio de transformações admissíveis antes da sua disponibilização.

O **Architectonic Middleware** articula níveis de acesso, domínios de transformação e condições de viabilidade segundo a metodologia e a precedência estabelecidas pela estratégia projectual. Orienta o alcance das capacidades transformativas disponibilizadas e as responsabilidades que lhes estão associadas, procurando preservar as condições de viabilidade e coerência estabelecidas para o domínio sem determinar antecipadamente as acções que ocorrerão no seu interior.



A precedência **P/R/I** fornece a referência metodológica para avaliar incompatibilidades e orientar a eventual revisão dessas condições, cuja autoridade cabe aos agentes investidos dessa responsabilidade, sendo as decisões reconhecidas através da Legitimação. Neste processo, o arquitecto tende a assumir um papel de articulação entre os diferentes domínios capaz de sustentar a coerência global do projecto. Perante a crescente interoperabilidade entre sistemas, a emergência de configuradores paramétricos e a participação de agentes com diferentes graus de competência, a estrutura proposta procura preservar a continuidade entre os objectivos projectuais e as transformações que deles decorrem, mesmo perante a crescente profusão de informação, intervenções e acções situadas.

Como o fio de Ariadne no labirinto de Dédalo, a referência não traça o percurso, mas preserva o seu sentido através da mudança. Entre desvios, revisões e contingências, o projecto transforma-se sem romper a continuidade entre a intenção que o inaugura e as decisões pelas quais ganha forma.

05

Experimentação
Prática

- *Reconstrução Metodológica*
- *Condições & Precedência*
- *Sistema algorítmico*

Exploração,
Legitimação &
Selecção

Parametrização &
Configuradores

Prática

Reconstrução Metodológica

A experimentação prática apresentada neste capítulo constitui o contexto a partir do qual parte da problemática da investigação foi inicialmente observada, sendo o processo experimental posteriormente reconstruído à luz do **Architectonic Middleware**. A **Taxonomia P/R/I,** os protocolos e os restantes conceitos mobilizados ao longo da construção teórica são aqui retomados perante esse processo projectual concreto, não como instrumentos previamente definidos que tenham orientado o seu desenvolvimento, mas como uma estrutura metodológica através da qual este pode ser retrospectivamente reorganizado e explicitado. Esta reconstrução permite reconhecer relações entre decisões, precedências e capacidades de intervenção que, durante o desenvolvimento experimental, permaneciam dispersas ou implícitas.

O processo analisado resulta do trabalho experimental desenvolvido no âmbito de uma bolsa de investigação integrada no projecto **R2U Technologies**[1], centrado na configuração paramétrica e no fabrico digital de componentes arquitectónicos em cortiça. O desenvolvimento articulou Rhinoceros, **Grasshopper** e **ShapeDiver** num fluxo ***file-to-factory***, desde a geração de alternativas e parametrização do sistema até à configuração por utilizadores não especializados e à produção automatizada de informação destinada ao fabrico e à montagem. Estes elementos, já introduzidos no enquadramento da investigação, são aqui retomados na medida necessária à reconstrução do processo e à análise das relações entre operações, agentes e condições de intervenção.

O desenvolvimento experimental decorreu em paralelo com a construção teórica. Os problemas encontrados durante a exploração, selecção, parametrização, disponibilização e fabrico, confrontados com a literatura especializada, contribuíram para a progressiva consolidação da estrutura metodológica proposta. Reciprocamente, essa estrutura permitiu regressar ao processo experimental, reorganizá-lo e explicitar relações de precedência que inicialmente permaneciam dispersas ou implícitas. A experimentação prática constitui, por isso, parte do processo de construção da metodologia e é posteriormente retomada como contexto para a sua sistematização e discussão.

1.
O trabalho experimental foi desenvolvido no âmbito de uma Bolsa de Investigação integrada no projecto R2U Technologies, financiado pelo PRR, Plano de Recuperação e Resiliência, com financiamento da União Europeia, e desenvolvido na FAUP através do Laboratório de Fabrico Digital (DFL) do CEAU. O plano de trabalhos incluía desenvolvimento de processos de desenho paramétrico e automação de desenhos, devendo suportar igualmente a realização da dissertação de MIArq na área da tecnologia digital em Arquitectura.

5.1
Condições & Precedência

Estratégia Projectual e Protocolos

A estratégia projectual do processo experimental parte do enquadramento estabelecido pelo plano de trabalhos da bolsa de investigação, que previa a participação no desenvolvimento do projecto **R2U Technologies** e a concepção e implementação de processos de desenho paramétrico aplicados ao desenvolvimento de produto e à automação de desenhos, articulados com actividades de documentação, simulação e comunicação. O trabalho deveria ainda contribuir directamente para o desenvolvimento da dissertação na área da tecnologia digital em Arquitectura. A concretização progressiva destas atribuições conduziu à definição de condições, meios e procedimentos mais específicos, que passaram a orientar o desenvolvimento experimental e constituíram os pontos de ancoragem da estratégia posteriormente sistematizada no presente capítulo.

Antes da sua sistematização metodológica, esta estratégia encontrava-se já apoiada num conjunto de condições e procedimentos relativamente estabilizados:

. Alternativas formais

Toda a modelação das alternativas deveria ser desenvolvida num ficheiro único de **Rhinoceros,** partilhado em nuvem entre projectista e orientador, permitindo acompanhar sequencialmente as soluções produzidas e manter acessíveis o desenho **2D**, o modelo **3D**, a fresa utilizada, a ***toolpath*** e as possibilidades de montagem associadas a cada padrão.

. Condições materiais

O desenvolvimento dos painéis decorativos deveria operar exclusivamente sobre placas normalizadas de cortiça com **100**x**50**x**5**cm, admitindo a sua instalação em orientação vertical ou horizontal. Esta condição constituía o suporte material comum a todas as alternativas.

. Condições de fabrico

A fresagem seria realizada através do braço robótico **KUKA** disponível no **Laboratório de Fabrico Digital do DFL**, devendo o desenvolvimento considerar as fresas disponíveis, as limitações cinemáticas e axiais do equipamento e as tolerâncias próprias da maquinação da cortiça.

. Viabilidade económica

Considerando o custo do material e da operação de maquinação, deveriam ser evitadas soluções dependentes de ***toolpaths*** excessivamente extensas. Por se tratar de fabrico digital, a avaliação da eficiência incidia prioritariamente sobre o comprimento efectivo do percurso da ferramenta e o tempo de maquinação resultante, e não sobre a simplicidade gráfica ou facilidade de rectificação manual do desenho.

. Vocabulário formal

O campo de exploração deveria privilegiar padrões abstractos e geometricamente simples, capazes de estabelecer continuidade compositiva quando repetidos e combinados entre placas adjacentes.

. Alternativas comunicáveis

As alternativas estabilizadas deveriam ser catalogadas num ficheiro partilhado em **Google Slides**, reunindo o nome do padrão, desenho **2D**, modelo **3D**, fresa utilizada, ***toolpath*** e possibilidades de montagem. Este suporte funcionava igualmente como meio de comunicação entre projectista, orientador e os agentes envolvidos no projecto por parte da **Amorim™** e da **DST *Group* ™**.

. Configurador e continuidade file-to-factory

Após a estabilização e aprovação do conjunto de padrões, uma alternativa seria seleccionada para parametrização em **Grasshopper** e posterior disponibilização através de uma interface ***web* SaaS[2]** em **ShapeDiver**. O configurador deveria permitir a manipulação dos parâmetros disponibilizados e gerar autonomamente a informação necessária às fases seguintes, nomeadamente ficheiros **DXF** correspondentes às ***toolpaths***, estimativa do custo de maquinação e documentação **PDF** com esquema visual e identificação das peças para montagem.

A sistematização destes pontos permite reconhecer funções metodológicas distintas. Algumas condições dizem respeito à forma como a informação é explicitada, organizada e mantida operável; outras estabelecem os limites dentro dos quais as alternativas podem ser produzidas e transformadas; outras ainda introduzem critérios para a sua comparação e avaliação. Desta diferenciação decorre, no processo experimental, uma precedência **Informacional > Prescritiva > Relacional,** correspondente aos protocolos estruturantes de Formalização / Delimitação / Valoração.

2.
SaaS (Software as a Service) designa um modelo de disponibilização de software através da internet, no qual a aplicação é acedida remotamente sem instalação local pelo utilizador. A designação é aqui utilizada apenas para caracterizar o modo de disponibilização da interface ShapeDiver, não constituindo uma categoria metodológica da investigação.

Objectivos

Sistema arquitectónico em cortiça
. customização em massa
. configuração por não especialistas
. viabilidade técnico-produtiva
. fluxo integrado ***file-to-factory***

Condições de partida
. placas normalizadas **100**x**50**x**5**cm
. material em **cortiça**
. ferramentas de maquinação **(fresas)**
. braço robôtico **KUKA**
. tempo/**custo** de maquinação

Estratégia Projetual

Informacional › Prescritivo › Relacional

I Formalizar

1. Alternativas formais
   Geração de alternativas
   Rhinoceros
2. Alternativas comunicáveis
   Registo e comunicação
   Google Slides
3. Sistema paramétrico
   Parametrização
   Grasshopper
4. Configurador
   Interface Web / Entreposto
   Shape Diver
5. Informação de fabrico
   Traduzir geometria
   DXF
6. Documentação
   Mapa de montagem
   PDF

P Delimitar

1. Condições materiais
   Dimensões
   Placas 100x50x5cm
   Material
   Cortiça
2. Condições de fabrico
   Maquinário
   KUKA *KR120 R2700 extra HA*
   Fresas
   Ø20, Ø40, Ø50, Ø100mm
3. Vocabulário formal
   Delimitar linguagem
   Abstracto e geométrico
4. Domínio operável
   Delimitar possibilidades
   Intervalos admissíveis
5. Níveis de acesso
   Delimitar capacidades
   Configurações viáveis

R Valorar

1. Qualidade arquitectónica
   Continuidade compositiva
   Coerência formal
2. Viabilidade económica
   Tempo de maquinação
   Toolpath
3. Desempenho técnico
   Integridade material
   Rigidez da peça
   Fiabilidade técnica
   Tolerâncias

Formalização

Informacional *(1ª ordem)*

A **Formalização** assume a primeira ordem e, portanto o sistema passa a ser considerado Informacional, porque a estratégia dependia desde o início de tornar explícitas e operáveis as informações necessárias ao desenvolvimento e coordenação do sistema. O ficheiro comum de **Rhinoceros** e o registo das alternativas constituíram uma primeira estabilização dessa informação, posteriormente aprofundada através da estruturação de parâmetros, relações e dependências em **Grasshopper**.

A passagem de alternativas estáticas para um sistema paramétrico reforçou esta condição, exigindo a conversão de propriedades manipuladas pelo projectista em entidades, parâmetros e relações reconhecíveis pelo sistema e posteriormente expostas através do **ShapeDiver.** Esta necessidade de formalizar operações em estruturas de informação partilhadas e operáveis por diferentes agentes justifica a precedência da Formalização sobre os protocolos subsequentes.

Delimitação

Prescritivo *(2ª ordem)*

A **Delimitação** assume a segunda ordem ao definir progressivamente o campo admissível de possibilidades. Nesse âmbito, as dimensões das placas, os meios de maquinação, as tolerâncias do material e o vocabulário formal condicionavam as alternativas e foram posteriormente traduzidos em parâmetros, limites e domínios de transformação. No configurador, a mesma lógica orienta a definição dos domínios paramétricos e dos níveis de acesso, delimitando não apenas aquilo que o sistema pode gerar, mas também aquilo que cada agente pode transformar.

Valoração

Relacional *(3ª ordem)*

A **Valoração** ocupa a terceira ordem porque, no processo experimental analisado, os critérios valorativos incidem sobre um campo de possibilidades previamente formalizado e delimitado. Esta posição não implica menor importância, mas uma dependência metodológica relativamente às condições estabelecidas pelos protocolos precedentes. Os objectivos não estavam centrados em análises performativas estruturais ou acústicas, incidindo a avaliação sobretudo sobre a coerência formal, o tempo e custo de maquinação, as tolerâncias e a integridade material. A selecção do padrão articulou critérios estéticos e capacidade demonstrativa, enquanto a definição dos limites de fresagem se apoiou na avaliação da integridade e rigidez da peça.

I > P > R

Informacional *(1ª ordem)*
Prescritivo *(2ª ordem)*
Relacional *(3ª ordem)*

A ordem **I > P > R** estabelece simultaneamente precedência metodológica e sequência cronológica na estruturação do processo projectual. A Formalização antecede a Delimitação, tornando operáveis as informações sobre as quais se definem condições e domínios de transformação, enquanto a Delimitação antecede a Valoração, estabelecendo o campo sobre o qual incidem os critérios de avaliação.

Esta sequência não corresponde, porém, uma progressão estritamente linear e irreversível. Quando uma operação revela um conflito ou incompatibilidade, o processo pode regressar ao protocolo precedente, rever a condição em causa e retomar a sequência estabelecida. Assim, uma Valoração pode exigir a revisão de uma Delimitação e esta, quando necessário, conduzir à revisão da estrutura informacional que a suporta. A recorrência introduz, deste modo, capacidade de revisão sem alterar a precedência que organiza o sistema.

O diagrama que se segue sintetiza esta ordem e a estrutura metodológica através da qual o processo será analisado, sem procurar reproduzir integralmente a sua evolução cronológica. O desenvolvimento ocorreu de forma incremental, através de sucessivas avaliações e revisões, desde a exploração inicial dos padrões até à geração automatizada da informação destinada ao fabrico. As secções seguintes retomam esta estrutura a partir dos artefactos efectivamente produzidos, tornando progressivamente explícitos os agentes, operações e protocolos transversais mobilizados.

5.2 Sistema Algorítmico

Exploração, Legitimação e Selecção

Definida a estratégia projectual e explicitada a precedência entre os protocolos estruturantes, o desenvolvimento experimental pode ser retomado a partir das alternativas, representações e decisões que progressivamente constituíram o sistema. Interessa agora observar como os protocolos transversais livres actuaram sobre essa estrutura, reduzindo um campo inicial de possibilidades até à estabilização das soluções aptas a prosseguir e à posterior selecção do padrão destinado à parametrização.

A primeira fase incidiu sobre a exploração de alternativas formais em **Rhinoceros**, já submetidas às condições estabelecidas na secção anterior. Algumas foram abandonadas ou reformuladas à medida que incompatibilidades com os meios de fabrico, extensão das ***toolpaths*** ou continuidade compositiva se tornavam explícitas.

Este processo conduziu à estabilização de dezasseis desenhos, organizados em dez conjuntos para instanciação, alguns dos quais integravam mais de um padrão. Destes, são aqui apresentados nove desenhos de autoria própria legitimados para prosseguir no processo, constituindo um primeiro domínio de alternativas admissíveis sobre o qual poderiam incidir operações de comparação, avaliação e selecção.

Objectivos

Sistema arquitectónico em cortiça

articular de forma integrada **customização**, **participação do utilizador** e **fabrico digital**, assegurando viabilidade material, técnica e produtiva ao longo do processo.

Protocolos Transversais
- REP representação
- SEL seleção
- TRA transmissão
- LEG legitimação
- VER verificação

Agentes Projetuais
- ■ projectista
- ▲ orientador
- ▲ amorim ™
- △ utilizador

Estratégia Projetual

Informacional
1ª ordem

Suportes Projectuais

Modelação **2D/3D** — REP

Apresentação — REP, TRA

Prescritivo
2ª ordem

▲ Condições **Materiais**: Placas de Cortiça ***100x50x5cm***

Condições **Fabrico**: Kuka KR120 ***+ fresas***

Vocabulário **Formal** — LEG ▲

Geração de **Alternativas**
P01, P02, P03 ... — REP ▲

Verificação
adequação ao vocabulário — VER ■

INAPTO *rever* ← ▲ → ***APTO*** *seguir*

Relacional
3ª ordem

Valoração
Qualidade arquitectónica
Viabilidade económica
Desempenho técnico

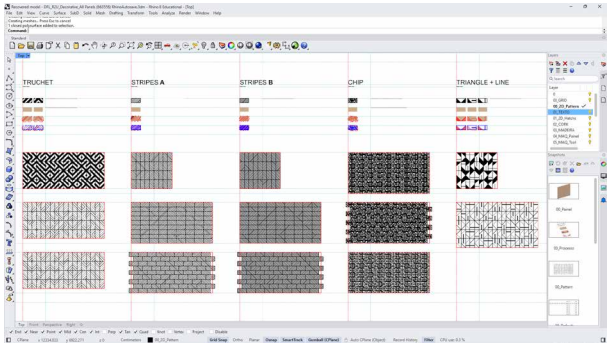
LEG ▲

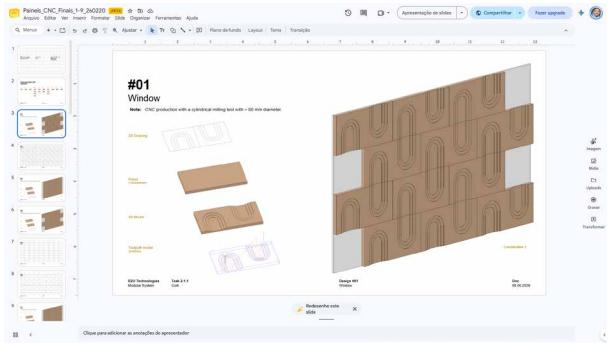
X *descartar* ← ▲ → ***APTO*** *produzir*

SEL ▲

Conjunto **paramétrico** — Conjuntos **serializáveis**

Formalizar





1. Alternativas formais
   Geração de alternativas ***Rhinoceros***

   Protocolos transversais: REP

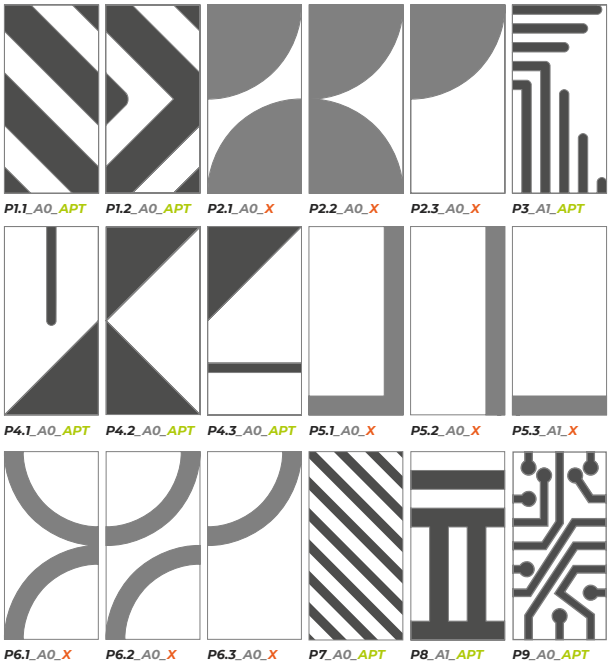
   Agentes mobilizados: ▲ *Orientador* ■ *Projectista*

2. Alternativas comunicáveis
   Registo e comunicação ***Google Slides***

   Protocolos transversais: REP, TRA

   Agentes mobilizados: ▲ *Orientador* ■ *Projectista*

Delimitar



1. Condições materiais
   Dimensões ***Placas 100x50x5cm***
   Material ***Cortiça***

   Agentes mobilizados: ▲ *Amorim ™*

2. Condições de fabrico
   Maquinário ***KUKA*** *KR 120*
   Fresas ***Ø20, Ø40, Ø50, Ø100mm***

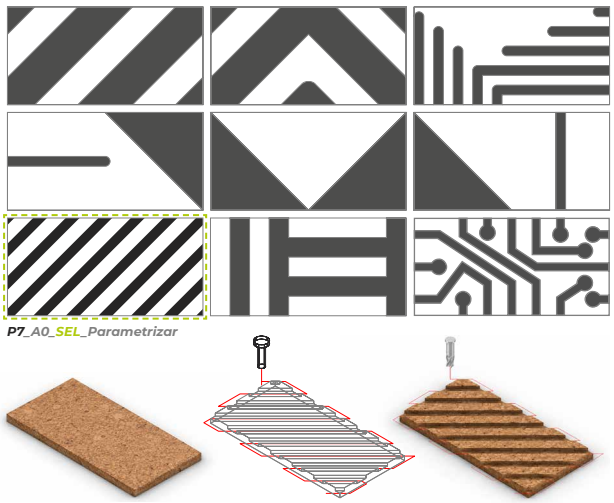
   Agentes mobilizados: ▲ *Orientador*

3. Vocabulário formal
   Delimitar linguagem ***Abstracto e geométrico***

   Protocolos transversais: REP, VER

   Agentes mobilizados: ▲ *Orientador* ■ *Projectista*

Valorar



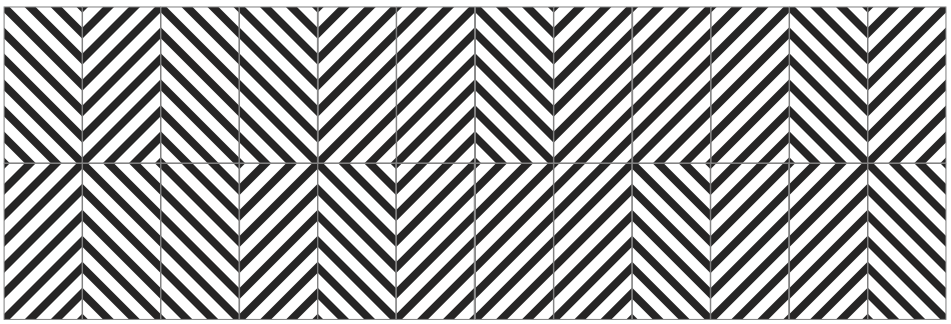
1. Qualidade arquitectónica
   Continuidade compositiva ***Coerência formal***

2. Viabilidade económica
   Tempo de maquinação ***Toolpath***

3. Desempenho técnico
   Integridade material ***Rigidez e da peça***
   Fiabilidade técnica ***Tolerâncias***

   Protocolos transversais: REP, VER

   Agentes mobilizados: ▲ *Orientador* ■ *Projectista* ▲ *Amorim ™*



Parametrização & Configuradores

Com a definição dos conjuntos legitimados para fabrico serializado e a selecção do padrão destinado à parametrização, encerra-se uma primeira fase do processo projectual, mantendo-se os objectivos, a estratégia e a precedência Informacional, Prescritiva e Relacional anteriormente estabelecidos. Reorganizam-se, contudo, as operações, os protocolos transversais e os agentes mobilizados.

A parametrização desenvolveu-se em **Grasshopper,** onde o padrão seleccionado foi reconstruído através de parâmetros e relações associativas. A partir do **Padrão A** foi criada uma segunda variante espelhada no eixo Y, designada **Padrão B.** Sobre estas estruturas foram formalizadas as possibilidades de instanciação das placas em orientação vertical ou horizontal, bem como a definição da largura e altura da superfície de aplicação. A partir dessas dimensões, o sistema gera a grelha de placas necessária para cobrir a área definida e, por intersecção com o seu perímetro, recorta automaticamente as peças periféricas que o ultrapassam, ajustando o conjunto à geometria da superfície. A distribuição dos Padrões A e B é posteriormente randomizada dentro dessa grelha, permitindo produzir diferentes composições sem alterar as condições de continuidade e fabrico anteriormente estabelecidas.

Na segunda fase do projecto, mantendo-se os mesmos objectivos projectuais anteriormente estabelecidos, as condições materiais e de fabrico são traduzidas em restrições paramétricas que delimitam o domínio de variação do sistema. As trajectórias de fresagem, ***toolpaths***, orientadas a 45°, devem atravessar obrigatoriamente os quatro vértices da placa, assegurando a continuidade do padrão entre quaisquer instâncias adjacentes e estabelecendo, por essa razão, um mínimo de quatro rasgos. As fresas de Ø20 e 50 mm determinam limites distintos para a quantidade de rasgos, definidos de modo a preservar uma faixa mínima de material entre eles, suficiente para manter a estabilidade das porções não escavadas sem comprometer a legibilidade do desenho. O limite máximo é, assim, de 36 rasgos para a fresa de 20 mm e de 18 para a de 50 mm. A profundidade é também restringida, estabelecendo-se um mínimo de 0,5 cm para assegurar a leitura efectiva do padrão e um máximo de 3,5 cm para evitar a perda de rigidez da peça.

A precedência Prescritiva sobre a Relacional evidencia-se aqui. A variação não resulta de um processo de ***form finding*** nem da emergência da forma a partir de relações performativas, mas opera dentro de um domínio previamente delimitado. O sistema aproxima-se, na leitura proposta, de um catálogo paramétrico expandido, no qual as relações entre parâmetros multiplicam e combinam instâncias sem reabrir as condições que definem a sua admissibilidade. Até este momento, o utilizador não especializado permanece exterior ao processo, cabendo aos agentes projectuais e especializados estruturar, verificar e legitimar o domínio que lhe será posteriormente acessível. A Valoração fica a jusante da Delimitação, incidindo sobre as configurações produzidas sem participar prioritariamente da constituição desse domínio.

Esta preparação prévia estabelece o Contrato de Viabilidade anteriormente definido, segundo o qual quaisquer configurações estabilizadas dentro dos limites disponibilizados permanecem admissíveis e viáveis perante as condições que legitimaram a sua exposição.

2a fase

parametrização
+ Shapediver

Configurador

Informacional
1ª ordem

Suportes Projectuais

parametrização
Grasshopper

interface ***web***
Shapediver

REP

TRA

Prescritivo
2ª ordem

▲ Condições Materiais

Placas de Cortiça
100x50x5cm

Condições Fabrico ▲

Kuka + *fresas*
Ø20; Ø50mm

Restrições
Paramétricas

Domínio
Operável

TRA SEL

Padrões
A / B

Orientação
Vert / Hor

superfície
Recorte

instanciação
Randomizar

Toolpath

continuidade
4 vertices

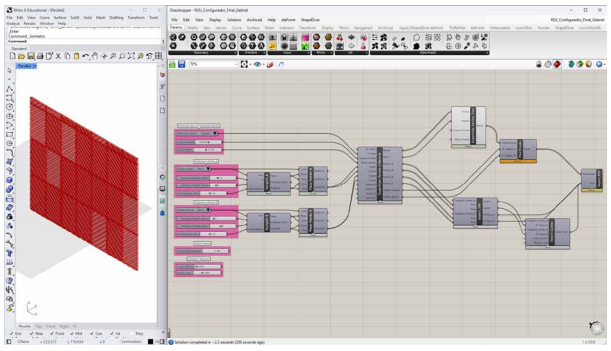
espaçamento
X **≥ 42**mm

qtde. rasgos
Ø20: 4 ≤ X ≤ 36
Ø50: 4 ≤ X ≤ 18

profundidade
0.5 ≤ X ≤ 3.5cm

LEG

Formalizar



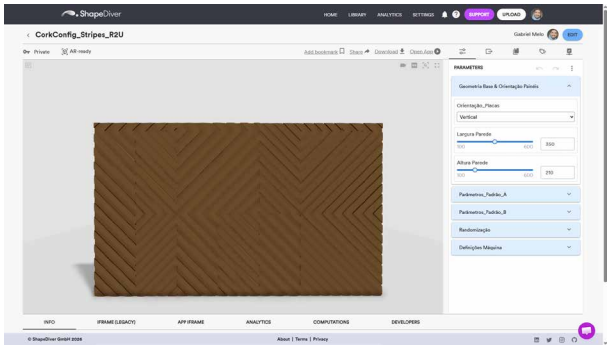
3. Sistema Paramétrico
Parametrização
Grasshopper

Protocolos transversais

REP

Agentes mobilizados

▲ ***Orientador***
■ ***Projectista***



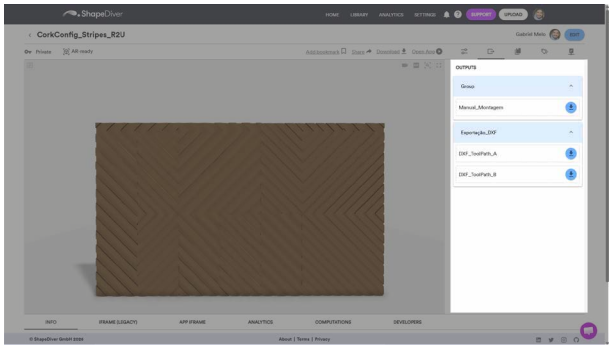
4. Configurador
Interface Web/Entreposto
Shape Diver

Protocolos transversais

TRA SEL

Agentes mobilizados

■ ***Projectista***
△ ***Utilizador*** *ñ especialista*



5. Informação de fabrico
Traduzir geometria
DXF

6. Documentação
Mapa de montagem
PDF

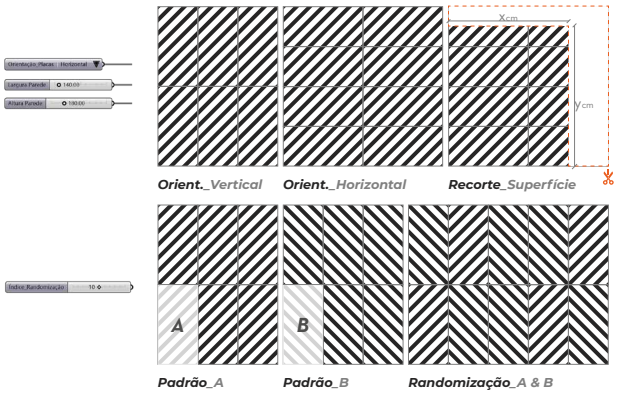
Protocolos transversais

TRA SEL

Agentes mobilizados

■ ***Projectista***
△ ***Utilizador*** *ñ especialista*

Delimitar



4. Domínio operável
Delimitar possibilidades
Intervalos admissíveis

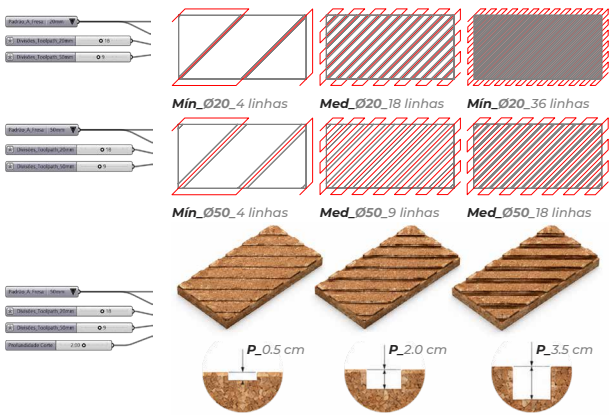
Fresas
Padrões: A & B
Vertical / Horizontal
Toolpath

5. Níveis de acesso
Delimitar capacidades
Configurações viáveis

Orientação Placas:
Vertical ; Horizontal
Superfície para Recorte:
Definir geometria base
Padrões:
A & B

Fresas:
Ø20 ; Ø50
Desenho:
Ø20 : *4≤X≤36 rasgos*
Ø50 : *4≤X≤18 rasgos*

Profundidade:
0.5 ≤ X ≤ 3.5cm

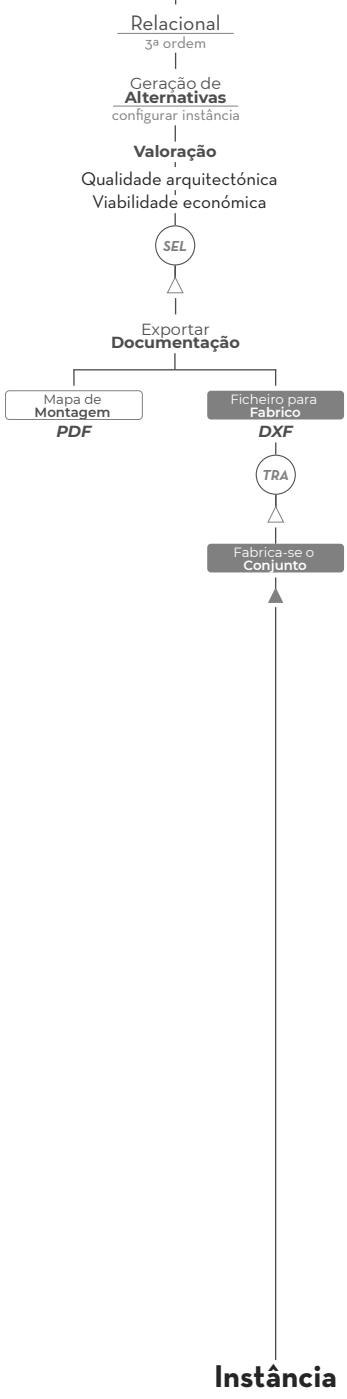


Protocolos transversais

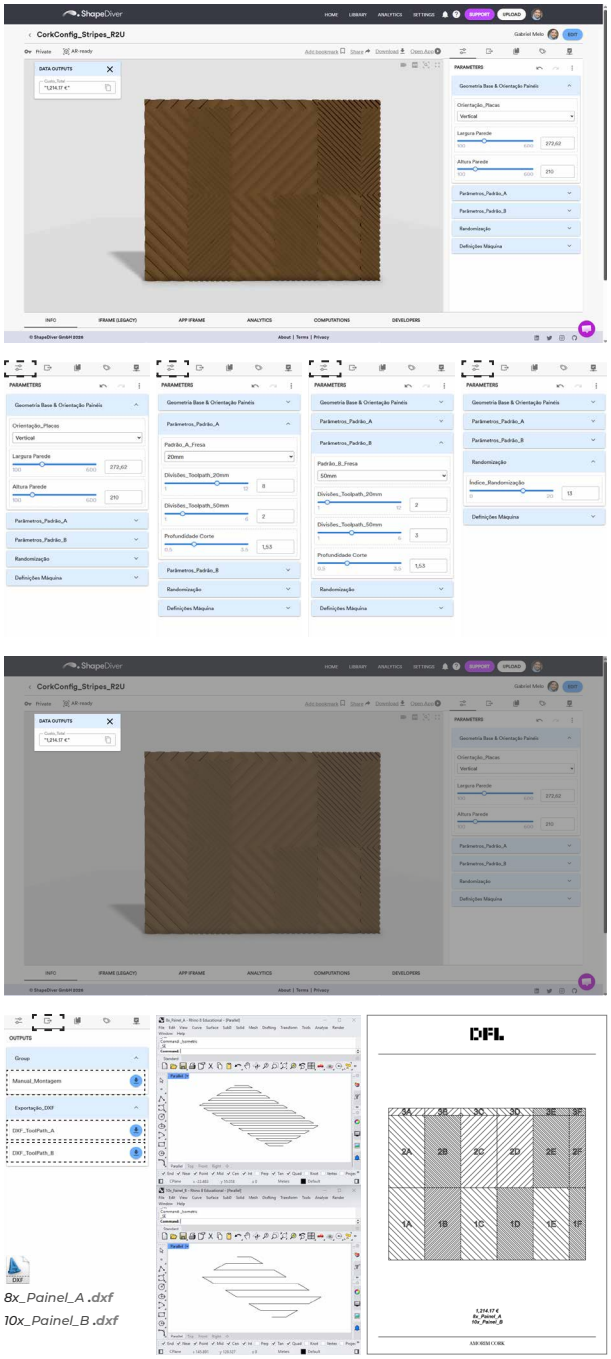
VER LEG TRA

Agentes mobilizados

■ ***Projectista***
▲ ***Orientador***
▲ ***Amorim ™***



Valorar



1. Qualidades arquitectónica
   Continuidade compositiva
   Coerência formal

2. Viabilidade económica
   Tempo de maquinação
   Toolpath

Protocolos transversais

SEL TRA

Agentes mobilizados

△ ***Utilizador*** *ñ especialista*

▲ ***Amorim ™***

Sob o domínio operável, a disponibilização do sistema através da interface ***web*** do **ShapeDiver** introduz no processo projectual o utilizador não especializado. A interface constitui o entreposto através do qual lhe são transmitidas apenas as capacidades de transformação previamente delimitadas, permanecendo inacessíveis a infraestrutura desenvolvida em Grasshopper e as relações que asseguram a admissibilidade dos resultados.

Neste contexto, o utilizador pode definir os parâmetros disponibilizados e acompanhar, em tempo real, as transformações resultantes:

. **Instanciação dos padrões** - *Vertical / Horizontal; Padrões A/B*
. **Diâmetro da fresa** - *Ø20; Ø50 mm*
. **Dimensões da superfície de aplicação** - *Recorte das peças periféricas*
. **Quantidade dos rasgos** - *dentro dos limites definidos para cada fresa*
. **Profundidade dos rasgos** - *0.5 ≤ X ≤ 3.5cm*
. **Custo total estimado do conjunto**

A partir dos parâmetros disponibilizados, a Valoração incide sobre as instâncias produzidas dentro do domínio previamente delimitado. O utilizador pode avaliar visualmente a composição e rever as suas escolhas, acompanhando a actualização do custo estimado, enquanto se preservam as condições formais, materiais e produtivas estabelecidas a montante. O **Contrato de Viabilidade** torna-se operativo na utilização do configurador, permitindo intervir sobre o sistema sem exigir ao utilizador o conhecimento técnico das relações que asseguram a admissibilidade das configurações.

Uma vez estabilizada a configuração, o sistema gera automaticamente a informação necessária às etapas seguintes, cabendo ao utilizador proceder à sua exportação. São disponibilizados ficheiros **DXF** com as trajectórias de maquinação e um documento **PDF** contendo o mapa de montagem, a quantificação das peças e o custo estimado do conjunto. O processo pode decorrer da configuração à obtenção da informação de fabrico sem que o utilizador opere directamente sobre o **Grasshopper** ou necessite de conhecimentos de programação **CNC.**

A reconstrução do processo experimental torna, por fim, explícita a continuidade que o **Architectonic Middleware** procura organizar:

. Os objectivos projectuais permitem reconhecer a **precedência I-P-R**

. A Formalização organiza parâmetros, relações e operações de modo a torná-los reconhecíveis e operáveis por diferentes agentes

. A Delimitaçãoestabelece o domínio e os níveis de acesso

. A Valoração incide sobre as instâncias produzidas por um novo agente dentro dessas condições

Rhinoceros, Google Slides, Grasshopper e ShapeDiver constituem suportes projectuais distintos de um mesmo processo, assumindo o **ShapeDiver** a função de entreposto projectual através do qual são expostas capacidades previamente delimitadas do sistema. A coerência desta reconstrução não depende da partilha integral do conhecimento ou das capacidades entre os participantes, mas da possibilidade de relacionar a sua distribuição com os objectivos e precedências posteriormente explicitados. No âmbito circunscrito da experimentação desenvolvida, esta leitura permite relacionar objectivos, precedência, operações, domínios, agência e protocolos numa estrutura projectual distribuída. Não constitui, contudo, uma validação da metodologia perante a escala e complexidade de processos arquitectónicos multidisciplinares, permanecendo a sua aplicação e avaliação nesses contextos como desenvolvimento posterior da investigação.

O configurador desenvolvido pode ser consultado através do **QR *code*** apresentado abaixo, permitindo aceder directamente à interface e explorar o domínio de configuração disponibilizado ao utilizador.

06

Conclusão

Reconstrução Metodológica
Precedência e
Agência Distribuída

Síntese

A presente investigação partiu de uma condição progressivamente evidente na prática arquitectónica contemporânea. A distribuição das operações projectuais por diferentes agentes, especialidades e sistemas computacionais amplia o conjunto de conhecimentos, instrumentos e possibilidades de intervenção a articular pelo arquitecto, aumentando simultaneamente o desafio de preservar a continuidade da intenção projectual entre os objectivos que orientam o projecto e as decisões tomadas em diferentes domínios e especialidades. Como argumentado ao longo da investigação, o problema não reside na ausência de instrumentos para transmitir informação, coordenar modelos ou verificar incompatibilidades, mas na necessidade de relacionar essas operações com uma referência metodológica orientada pela prática arquitectónica, sobretudo perante situações de conflito, revisão ou alteração das condições inicialmente estabelecidas.

A genealogia desenvolvida evidenciou também, para este propósito, a limitação de taxonomias assentes predominantemente em categorias estilísticas, cronológicas ou tecnológicas enquanto suporte formalizável para a gestão de decisões projectuais, quer na interpretação e intervenção sobre o construído, quer na estruturação de projectos de raiz. A Taxonomia P/R/I proposta procura responder a esta condição classificando os sistemas segundo a precedência assumida pelos protocolos estruturantes em função dos objectivos e da estratégia projectual. Esta classificação permite interpretar projectos existentes segundo a lógica que organiza as suas operações e, em projectos de raiz, estabelecer uma referência para estruturar a estratégia e confrontar condições concorrentes ao longo do seu desenvolvimento.

Sobre estas referências desenvolveu-se o Architectonic Middleware como metodologia destinada a relacionar objectivos, estratégia, precedências e distribuição da agência. A proposta não constitui uma plataforma computacional nem depende de uma infraestrutura específica. BIM, ambientes paramétricos, sistemas generativos, configuradores ou estruturas semanticamente enriquecidas podem suportar diferentes operações sem determinar a metodologia que as articula. Situando-se a montante dessas implementações, o Architectonic Middleware pode articular capacidades provenientes de ambientes distintos e incorporar novas formas de agência computacional sem depender de uma tecnologia particular.
A precedência P/R/I fornece, nesse âmbito, uma referência relativamente estável para orientar operações distribuídas sem pretender antecipar integralmente o desenvolvimento do projecto. Os protocolos estruturantes estabelecem essa ordem, enquanto os protocolos transversais podem repetir-se e reorganizar-se perante novas informações e contingências. A metodologia estrutura, assim, condições para a acção e para a revisão sem substituir a decisão situada dos participantes. Esta distinção permite preservar uma orientação comum mesmo quando operações, informações e capacidades de transformação se distribuem por diferentes agentes e entrepostos projectuais.

Configuradores

Em ambientes multiagente, incluindo participantes não especializados, a distribuição da agência exige ainda distinguir capacidade de transformação, nível de acesso, competência, autoridade e responsabilidade sobre as condições da intervenção. Os entrepostos projectuais podem disponibilizar selectivamente determinadas capacidades sem expor integralmente a estrutura que as produz. Neste contexto, o Contrato de Viabilidade proposto pode ser entendido como um acordo tácito entre quem estrutura o domínio e quem posteriormente opera no seu interior, segundo o qual as capacidades disponibilizadas permanecem subordinadas às condições que garantem a admissibilidade das transformações produzidas.

No caso dos configuradores paramétricos, por exemplo, qualquer configuração gerada dentro dos limites disponibilizados deve permanecer formalmente admissível e tecnicamente viável para fabrico. A garantia dessa viabilidade

não depende, portanto, da validação técnica de cada instância pelo utilizador não especializado, mas da incorporação prévia, no domínio disponibilizado, das condições que delimitam a sua intervenção.

Neste enquadramento, a reconstrução metodológica da experimentação prática em cortiça permitiu tornar explícitas estas relações num processo efectivamente desenvolvido. A atribuição de precedência Informacional, segundo a organização I-P-R, tornou reconhecível uma relação hierárquica inicialmente não formalizada entre a estruturação do sistema paramétrico, a delimitação do domínio posteriormente disponibilizado e a valoração das configurações produzidas. Grasshopper e ShapeDiver evidenciaram, por sua vez, as implicações práticas da distribuição de capacidades de transformação sem conceder ao utilizador acesso equivalente à estrutura que as suporta. Esta experimentação não constitui uma aplicação posterior de uma metodologia previamente concluída. O processo experimental participou na identificação dos problemas, contribuiu para a construção e consolidação das categorias posteriormente formalizadas e foi, reciprocamente, reorganizado retrospectivamente através da estrutura que ajudou a produzir.

Contribuição

A contribuição da investigação reside, assim, menos na introdução de novos mecanismos computacionais do que na sua articulação segundo uma referência propriamente projectual. O Architectonic Middleware procura tornar explícito quem pode intervir, sobre que domínio, sob que condições e segundo que precedência, mantendo as operações distribuídas relacionadas com os objectivos que lhes conferem pertinência arquitectónica. A investigação permite estabelecer e discutir a coerência desta estrutura no recorte desenvolvido, permanecendo a sua aplicação prospectiva e avaliação em processos multidisciplinares de maior escala e complexidade como matéria para desenvolvimento posterior.

6.1 Limites & Alcance

A construção da metodologia apoiou-se numa revisão bibliográfica dirigida, reunindo obras de autores de referência e artigos académicos provenientes de diferentes campos da teoria e da prática arquitectónica, bem como da investigação computacional aplicada ao projecto. A selecção procurou identificar mecanismos, protocolos e estruturas relevantes para o problema em estudo, mantendo a proposta independente de uma tecnologia ou plataforma específicas. Essa independência constitui uma condição da própria metodologia, embora permaneça por explorar a sua operacionalização integrada num ambiente computacional capaz de representar e acompanhar protocolos, precedências, níveis de acesso, autoridade, legitimação e revisão.

A investigação permite confrontar a coerência conceptual da estrutura proposta com os precedentes analisados e com a experimentação desenvolvida no âmbito do R2U, embora esta permaneça localizada e circunscrita. A configuração paramétrica e a participação de utilizadores não especializados permitiram observar relações entre precedência, domínio, acesso e viabilidade, mas não reproduzem a complexidade de um projecto de edifício distribuído por múltiplas especialidades e estruturas de autoridade. O principal limite reside, assim, na ausência de uma aplicação prospectiva em processos arquitectónicos de maior escala e diversidade disciplinar. Este limite decorre da necessidade, reconhecida ao longo da investigação, de formalizar e estabilizar previamente a proposta antes de a submeter a avaliação em contexto real.

O desenvolvimento seguinte deverá, por isso, aplicar a metodologia num novo processo projectual multidisciplinar, acompanhando decisões, condições concorrentes, conflitos e revisões através da observação do processo e da consulta aos participantes. Estes limites circunscrevem o alcance da investigação sem alterar a natureza da contribuição, que reside na explicitação das condições necessárias à coordenação quando operações e capacidades de transformação se distribuem por diferentes agentes e sistemas, sem pretender formalizar integralmente o acto de projectar. A avaliação da sua robustez em processos reais de maior escala e complexidade constitui, assim, o principal passo subsequente.

6.2 Futuro

A investigação desenvolvida abre um conjunto de linhas de continuidade que ultrapassam o âmbito da presente dissertação. Mais do que prolongamentos técnicos da metodologia, estas direcções permitem aprofundar a sua capacidade para estruturar relações entre intenção projectual, agência distribuída, decisão e responsabilidade em contextos progressivamente mais complexos. Pela amplitude dos problemas que colocam e pela necessidade de aplicação e avaliação em novos contextos, constituem matéria para uma investigação de maior duração, organizada em três linhas principais.

Uma primeira linha poderá aprofundar a capacidade da metodologia para formalizar intenções projectuais perante a crescente participação de sistemas computacionais na interpretação de informação, reconhecimento de relações e proposição de alterações ao projecto.

. IA, Agência e Intenção Projectual

Uma primeira linha de investigação decorre da crescente participação de sistemas baseados em Inteligência Artificial na interpretação de informação, reconhecimento de relações e proposição de alterações ao projecto. Neste contexto, interessa aprofundar a capacidade da metodologia para formalizar intenções projectuais antes da atribuição de agência computacional. Objectivos, protocolos, precedências, competências e condições de Legitimação poderiam constituir uma referência explícita para orientar não apenas aquilo que um agente consegue executar, mas também segundo que condições pode propor uma alteração, como deve confrontar incompatibilidades e quando uma decisão necessita de validação por um agente investido da autoridade correspondente. Esta direcção permitiria investigar a relação entre agência computacional crescente e preservação da continuidade da intenção projectual.

. Configuração Paramétrica, Customização e Fabrico

Uma segunda linha prolonga directamente a experimentação desenvolvida com sistemas paramétricos, configuradores e fabrico digital. A metodologia poderá informar a construção de sistemas destinados a utilizadores não especializados, relacionando os parâmetros expostos com objectivos projectuais, condições materiais, requisitos produtivos e níveis diferenciados de acesso. A extensão a outros materiais, sistemas construtivos e processos de fabrico permitirá testar a capacidade de delimitar, com base em precedências e protocolos, domínios operáveis disponibilizados através de configuradores, mantendo-os abertos à customização em massa sem comprometer as condições que asseguram a admissibilidade e a viabilidade das configurações produzidas.

. Contratos Projectuais e Responsabilidade Distribuída

Uma terceira linha explora a capacidade da metodologia proposta para explicitar previamente as precedências e os agentes investidos de autoridade nos diferentes domínios, bem como para registar as decisões distribuídas ao longo do processo projectual. Ao relacionar agentes, competências, operações, legitimação e responsabilidade, esta estrutura poderá tornar rastreável não apenas aquilo que foi alterado, mas também quem podia decidir ou rever determinada condição e quais as consequências dessa decisão sobre operações dependentes. A metodologia poderá, neste âmbito, ser confrontada com contratos, protocolos de aprovação e registos formais de decisão, investigando de que modo responsabilidades estabelecidas por meios jurídicos e institucionais podem relacionar-se com a distribuição efectiva da agência projectual. Tal desenvolvimento exigirá contributos da prática profissional e de campos externos à Arquitectura, em particular do Direito e da gestão.

Referencias Bibliograficas

Estruturado segundo o estilo de citação Harvard

- Alberti, L.B. (1988) On the Art of Building in Ten Books. Tradução de J. Rykwert, N. Leach e R. Tavernor. Cambridge, MA: MIT Press.
- Cache, B. (1995) Earth Moves: The Furnishing of Territories. Editado por M. Speaks, traduzido por A. Boyman. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carpo, M. (2011) The Alphabet and the Algorithm. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carpo, M. (2017) The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence. Cambridge, MA: MIT Press.
- Deleuze, G. (2004) The Fold: Leibniz and the Baroque. London: Continuum International Publishing Group.
- Eastman, C.M., Teicholz, P., Sacks, R. e Liston, K. (2008) BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Faulí i Oller, J. (2023) La Basílica de la Sagrada Familia. Madrid: Palacios y Museos.
- Frazer, J. (1995) An Evolutionary Architecture. London: Architectural Association.
- Hensel, M., Menges, A. e Weinstock, M. (2010) Emergent Technologies and Design: Towards a Biological Paradigm for Architecture. London e New York: Routledge.
- Jones, O. (1856) The Grammar of Ornament. London: Day and Son.
- Kant, I. (2001) Crítica da Razão Pura. Tradução de M.P. dos Santos e A.F. Morujão. 5.ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- King, D.B. e Wertheimer, M. (2005) Max Wertheimer & Gestalt Theory. New Brunswick, NJ: Transaction Publishers.
- Kolarevic, B. (ed.) (2003) Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. New York e London: Spon Press.
- Le Corbusier (1927) Towards a New Architecture. Tradução de F. Etchells. New York: Dover Publications.
- Lindsey, B. (2001) Digital Gehry: Material Resistance, Digital Construction. Basel and Boston: Birkhäuser.
- Mitchell, W.J. (1990) The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition. Cambridge, MA: MIT Press.
- MVRDV (1999) MetaCity/Datatown. Rotterdam: 010 Publishers.MIT Press.
- Negroponte, N. (1970) The Architecture Machine: Toward a More Human Environment. Cambridge, MA: MIT Press.MIT Press.
- Otto, F. e Rasch, B. (1995) Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal. Editado por S. Schanz. Fellbach: Edition Axel Menges.
- Palladio, A. (1570) I quattro libri dell'architettura. Venetia: Domenico de' Franceschi.
- Picon, A. (2010) Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Professions. Basel: Birkhäuser.
- Rykwert, J. (1981) On Adam's House in Paradise: The Idea of the Primitive Hut in Architectural History. 2.ª ed. Cambridge, MA: MIT Press.
- Suchman, L.A. (2007) Human-Machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions. 2.ª ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vitruvius (1999) Ten Books on Architecture. Tradução de I.D. Rowland, comentários e ilustrações de T.N. Howe. Cambridge: Cambridge University Press.

Artigos, capítulos, actas e normas

- Argan, G.C. (1963) 'On the Typology of Architecture', trad. J. Rykwert, Architectural Design, 33, pp. 564–565.
- Bakhshi, S., Chenaghlou, M.R., Pour Rahimian, F., Edwards, D.J. and Dawood, N. (2022) 'Integrated BIM and DfMA parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction', Automation in Construction, 133, 104015. doi: 10.1016/j.autcon.2021.104015.
- Castro e Costa, E., Jorge, J., Knochel, A.D. and Duarte, J.P. (2020) 'Enabling parametric design space exploration by non-designers', Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 34(2), pp. 160–175. doi: 10.1017/S0890060420000177.
- Davis, D. and Peters, B. (2013) 'Design Ecosystems: Customising the Architectural Design Environment with Software Plug-ins', Architectural Design, 83(2), pp. 124–131. doi: 10.1002/ad.1567.
- Duarte, J.P. (2005) 'Towards the Mass Customization of Housing: The Grammar of Siza's Houses at Malagueira', Environment and Planning B: Planning and Design, 32(3), pp. 347–380. doi: 10.1068/b31124.
- International Organization for Standardization (2013) ISO 16739:2013: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Geneva: ISO.
- Khedro, T., Genesereth, M.R. and Teicholz, P. (1993) 'FCDA: A framework for collaborative distributed multidisciplinary design', AAAI Technical Report WS-93-07, pp. 67–80.
- Parrish, K., Wong, J.-M., Tommelein, I.D. and Stojadinovic, B. (2007) 'Exploration of Set-Based Design for Reinforced Concrete Structures', in Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 15). Michigan, USA, pp. 213–222.
- Sacks, R., Wang, Z., Ouyang, B., Utkucu, D. and Chen, S. (2022) 'Toward artificially intelligent cloud-based building information modelling for collaborative multidisciplinary design', Advanced Engineering Informatics, 53, 101711. doi: 10.1016/j.aei.2022.101711.
- Whitehead, H. (2003) 'Laws of Form', in Kolarevic, B. (ed.) Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. New York: Spon Press, pp. 81–100.

Revistas e números temáticos

- Gropius, W. and Meyer, H. (eds.) (1928) Bauhaus: Zeitschrift für Gestaltung, 2(2/4). Dessau: Bauhaus.

Sites e recursos web

- Bauhaus (1928) Bauhaus: Zeitschrift für Gestaltung. Disponível em: http://bauhaus-zeitschrift.de (Acedido em: 29 setembro de 2026).
- buildingSMART International (s.d.) buildingSMART International Standards Server. Disponível em: https://standards.buildingsmart.org/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026).
- Carpo, M. (s.d.) Image-Making Technologies, Architecture, and Identical Replication. MIT Architecture. Disponível em: http://architecture.mit.edu/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026).
- Davis, D. (2013) Design Ecosystems: Customising the Architectural Design Environment with Software Plug-ins. Disponível em: https://www.danieldavis.com/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026).
- Graphisoft/DDS (s.d.) DDS and Graphisoft. Disponível em: https://www.dds.no/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026).
- McNeel (s.d.) Rhino.Inside.Revit. Disponível em: https://www.rhino3d.com/en/features/rhino-inside-revit/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026).
- ShapeDiver (s.d.) ShapeDiver Help Center. Disponível em: https://help.shapediver.com/doc (Acedido em: 29 de setembro de 2026).
- Solibri (s.d.) Solibri Help Center. Disponível em: https://help.solibri.com/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026). A documentação consultada incluiu, entre outros tópicos, roles, regras e recursos. Solibri Ajuda
- VIKTOR (s.d.) VIKTOR Documentation. Disponível em: https://docs.viktor.ai/docs/getting-started/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026).
- Wikimedia Commons (s.d.) Colònia Güell inverted model photograph. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/ (Acedido em: 29 de setembro de 2026).