XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8734

Prototipagem na construção civil: análise do estudo de caso de um apartamento tipo

Prototyping in construction: a case study of a typical apartment unit

João Henrique Cenci
Escola Politécnica da USP | São Paulo | Brasil | joao.cenci@usp.br

Resumo

A prototipagem é utilizada na construção civil para otimizar processos construtivos e verificar a conformidade da execução em relação aos projetos, contribuindo para a qualidade do produto final. Embora a compatibilização digital em BIM antecipe interferências, ainda são limitadas as análises sobre como a prototipagem física complementa o modelo digital na identificação de incompatibilidades executivas percebidas apenas na execução. Este trabalho tem como objetivo analisar a aplicação da prototipagem física de um apartamento tipo, identificando suas vantagens e limitações. Como metodologia, realizou-se um estudo de caso de um apartamento tipo submetido ao processo de prototipagem, analisando seus impactos na execução e na interação entre as equipes de projeto e obra. Os resultados indicam ganhos na identificação de interferências, revisão de projetos, redução de chamados de obra, comunicação entre equipes e padronização executiva, além de limitações na leitura de detalhamentos gráficos e na necessidade de ajuste do cronograma para a validação do protótipo. O estudo contribui ao demonstrar o papel complementar da prototipagem física à compatibilização digital na construção civil.

Palavras-chave: Prototipagem. Apartamento Protótipo. Qualidade do Projeto.

Abstract

Prototyping is employed in the construction industry to optimize construction processes and verify compliance between execution and design documentation, contributing to the quality of the final product. Although BIM coordination anticipates clashes, analyses are still limited as to how physical prototyping complements the digital model in identifying execution-related incompatibilities that are only perceived during construction. This study aims to analyze the application of physical prototyping of a typical apartment unit, identifying its advantages and limitations. The methodology consisted of a case study carried out on a typical apartment unit submitted to the prototyping process, analyzing its impacts on execution and the interaction between the design and construction teams. The results indicate gains in clash detection, design revisions, reduction of field requests, communication among teams, and execution standardization, in addition to limitations in the interpretation of graphic details and the need for schedule adjustments to accommodate prototype validation. The study contributes by demonstrating the complementary role of physical prototyping to digital coordination in construction.

Keywords: Prototyping. Prototype Apartment. Project Quality.

Como citar:
CENCI, J. H. Prototipagem na construção civil: análise do estudo de caso de um apartamento tipo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21., 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8734

INTRODUÇÃO

O termo protótipo refere-se a uma representação inicial de um produto ou sistema, utilizada para testar, validar e aprimorar soluções antes de sua produção em série [1, 2]. Na construção civil, a inserção dos projetos em CAD contribuiu para a representação digital das disciplinas projetuais, ampliando posteriormente, com o avanço do BIM, as possibilidades de modelagem tridimensional, integração das informações do empreendimento, visualização dos sistemas construtivos e coordenação entre os agentes envolvidos no processo de projeto [3, 4]. Nesse contexto, a compatibilização digital tem permitido antecipar parte das interferências entre disciplinas ainda na fase de projeto [3, 4]. Entretanto, algumas incompatibilidades relacionadas às condições reais de execução somente são identificadas durante a construção [5, 6, 7]. Assim, a prototipagem física constitui uma estratégia complementar para validar os projetos executivos, apoiar a tomada de decisão e aperfeiçoar os processos construtivos [6, 7].

De forma complementar à compatibilização digital, este trabalho aborda a aplicação da prototipagem física, na qual a verificação dos projetos executivos é realizada a partir de uma análise prática em obra, reconhecendo que construções, por sua materialidade e condições reais de execução, também demandam validações em escala real [7]. Essa aplicação geralmente ocorre em um apartamento tipo, com o objetivo de aprimorar o fluxo de execução e, simultaneamente, contribuir para a validação de quantitativos, estimativa de prazos de execução, redução de retrabalhos e verificação do padrão de qualidade esperado, considerando a produção de múltiplas unidades semelhantes [6, 7].

De acordo com Saffaro [6], o emprego da prototipagem auxilia na implantação de padrões relacionados às metodologias de produção e ao produto final, além de trazer benefícios associados à capacidade técnica e organizacional das equipes, o que resulta na redução de prazos e custos, bem como na melhoria do resultado final. O tema vem sendo discutido na construção em diálogo com o *Lean Construction* [8], a redução de perdas [9] e a qualidade do projeto [5], especialmente por sua contribuição para a antecipação de restrições, a redução de decisões reativas em obra e a melhoria do fluxo de informações entre projeto e produção [8, 10]. Apesar dos avanços relacionados ao BIM e à compatibilização de projetos, ainda são limitadas as análises sobre como o protótipo físico complementa o modelo digital na identificação de interferências executivas [3, 5, 6].

A presente pesquisa analisa a utilização da prototipagem na construção civil, discutindo se o uso desse recurso traz benefícios aos agentes envolvidos nos processos de projeto e execução, bem como suas contribuições para a gestão da produção. Além disso, busca-se estudar os efeitos da prototipagem na etapa pós-projetual e executiva da obra, por meio da verificação de resultados e de suas contribuições ao processo produtivo.

PROJETO E EXECUÇÃO NA ETAPA DE PROTOTIPAGEM

Conforme discutido por Melhado [5], a etapa de projeto desempenha papel fundamental no processo de desenvolvimento do produto na construção civil, uma vez que reúne, organiza e formaliza as informações físicas, tecnológicas e construtivas necessárias à execução. Nessa perspectiva, o projeto não deve ser compreendido apenas como um documento de aprovação, mas como um instrumento técnico de planejamento, coordenação e orientação da produção [5]. Entretanto, a literatura aponta que a falta de integração entre as etapas de projeto e obra ainda representa uma limitação recorrente no setor, contribuindo para que decisões técnicas relevantes sejam postergadas para a fase executiva [5, 6]. Essa fragilidade pode resultar em incompatibilidades entre disciplinas, dúvidas por parte das equipes executoras, retrabalhos e ajustes em campo, comprometendo a previsibilidade do processo construtivo [6, 8, 10]. Assim, embora a redução do tempo e dos custos destinados à etapa de projeto possa ser percebida, em um primeiro momento, como vantajosa, a insuficiência de informações projetuais tende a transferir problemas para a obra, aumentando os riscos de falhas durante a execução [5, 6].

Nesse contexto, a integração entre projetos executivos e o uso de protótipos pode contribuir para aproximar projeto e produção, inserindo-se no processo de desenvolvimento do produto [6]. Essa aproximação também reforça a importância da comunicação entre projetistas e executores, favorecendo a qualificação do projeto, a melhoria da execução e a redução de perdas no processo construtivo [5, 6, 9].

Quando essa integração apresenta fragilidades, a comunicação entre obra e projetos tende a ocorrer por meio de chamados de obra - registros de solicitações técnicas realizadas pelas equipes executoras à coordenação de projetos, com o objetivo de esclarecer dúvidas, relatar incompatibilidades ou propor ajustes nos projetos executivos. Esses chamados podem estar associados a falhas na concepção de projeto, alterações de definições e premissas, adequações de obra, não conformidade com normas de qualidade e melhorias em geral. Na literatura internacional, esse processo é análogo às RFIs (*Requests for Information*), amplamente discutidas na gestão da construção e em ambientes BIM [3].

Esse cenário evidencia que a detecção de problemas ocorre, muitas vezes, apenas na fase de execução, estando associada à ausência de análise prévia dos projetos pela equipe de obra [5, 6]. Nesse contexto, a recorrência de chamados de obra pode ser interpretada como indicador de gargalos no fluxo de informações e de limitações na previsibilidade do processo produtivo, uma vez que a identificação de problemas ocorre de forma reativa, no momento da execução [3, 8, 10]. A não identificação prévia de restrições compromete a confiabilidade do planejamento, o que reforça a importância da análise antecipada dos projetos e da remoção de restrições antes do início das atividades [8, 10].

A prática da prototipagem também favorece a comunicação entre as equipes, na medida em que aproxima o embasamento teórico do projeto da aplicação prática na execução, promovendo maior integração entre os agentes envolvidos [8, 10]. Assim, consolida-se a busca pela padronização. Para Imai [11], esse processo auxilia na

diminuição das variabilidades, pois define uma meta a ser atingida e um método a ser seguido pelos envolvidos.

MÉTODO

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de abordagem qualitativa, com apoio de análises descritivas. Segundo Yin [12], essa estratégia é adequada para investigar fenômenos contemporâneos em profundidade e em seu contexto real. Assim, essa abordagem mostra-se coerente com o objetivo de analisar a prototipagem física no ambiente da obra, considerando sua relação com os projetos executivos, a execução e a interação entre as equipes envolvidas.

O estudo foi conduzido em um empreendimento residencial localizado na cidade de Maringá, Paraná, selecionado por apresentar unidades de tipologia repetitiva, característica que favorece a aplicação da prototipagem física como ferramenta de verificação dos projetos executivos e padronização da execução. O empreendimento, de alto padrão, é composto por 36 pavimentos e contou com a implementação de um apartamento protótipo como etapa de validação antes da replicação dos serviços nas demais unidades.

Como protótipo, adotou-se a unidade 201, correspondente à primeira tipologia padrão acima do apartamento diferenciado (Figura 1). A unidade possui aproximadamente 300 m² e contempla os ambientes característicos da tipologia analisada. Para sua execução, a equipe concentrou esforços nessa unidade, finalizando os serviços para posterior verificação.

Figura 1: Planta baixa do apartamento tipo utilizado como protótipo



Fonte: o autor.

O processo de análise foi estruturado em quatro etapas: (1) análise prévia dos projetos executivos e documentos técnicos; (2) execução do apartamento protótipo; (3)

inspeção técnica em campo, com identificação e registro de incompatibilidades entre disciplinas durante a execução; e (4) avaliação dos impactos dessas incompatibilidades na execução e na comunicação entre equipes. A coleta de dados ocorreu por meio de análise documental dos projetos e detalhamentos executivos, inspeção técnica do apartamento protótipo e registros sistematizados em planilha de verificação e ata de plano de ação. Não foram realizadas entrevistas formais, sendo as interações com as equipes de projeto e obra consideradas como apoio à verificação técnica e à validação das soluções adotadas.

No caso estudado, os projetos complementares e a compatibilização das disciplinas foram desenvolvidos por projetistas externos, enquanto o gerenciamento e a análise desses projetos ocorreram internamente na empresa construtora. A Figura 2 resume o processo produtivo desde a fase de concepção projetual, passando pelo apartamento protótipo, até a etapa de execução.

Figura 2: Fluxograma das etapas de concepção projetual e executiva com as fases da prototipagem

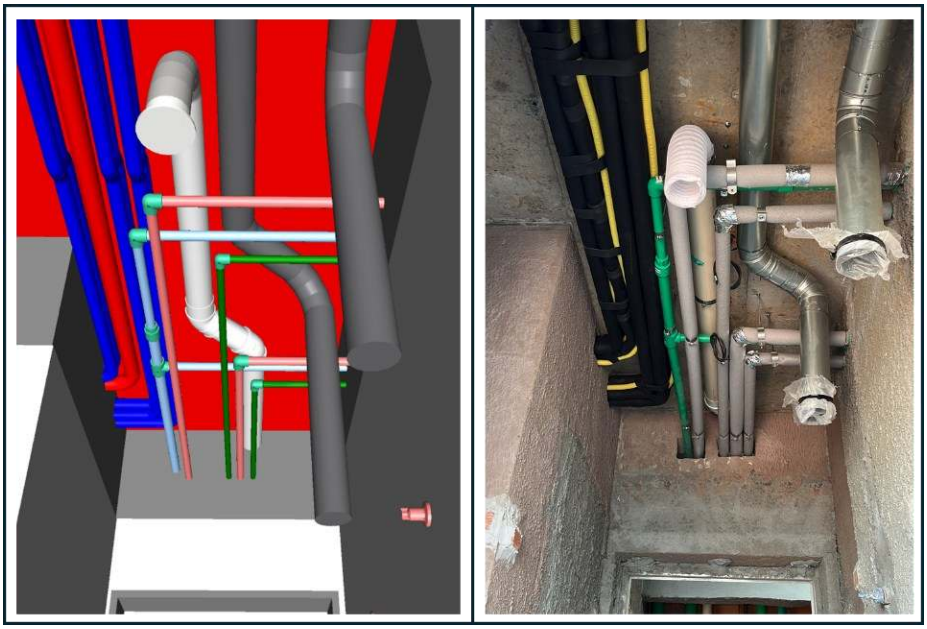


Fonte: o autor.

Como ferramenta principal para compatibilização e análise dos modelos digitais, utilizou-se o Navisworks, software empregado para integração dos modelos das disciplinas, visualização e identificação de interferências entre os sistemas projetuais. A comparação entre os modelos digitais e a execução em campo constituiu uma das etapas da verificação metodológica, sendo utilizada para avaliar a conformidade da execução do protótipo físico em relação aos projetos executivos. A Figura 3 apresenta um exemplo dessa comparação entre os modelos digitais e o protótipo físico.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8734

Figura 3: Comparativo entre Navisworks e foto da execução na Área Técnica do apartamento



Fonte: o autor.

Para a verificação do protótipo físico, foram analisadas as principais infraestruturas que compõem um projeto residencial: 1) Arquitetônico, 2) Alvenaria de vedação, 3) Hidráulico, 4) Sanitário, 5) Elétrico, 6) Telecomunicação, 7) Preventivo contra Incêndio e instalações de gás, 8) Climatização e 9) Exaustão. A verificação da execução conforme os respectivos projetos foi acompanhada pela equipe de projetos em conjunto com a engenharia da obra.

Foi utilizado um conjunto de documentos técnicos, incluindo cadernos de projetos e detalhamentos executivos, de modo a garantir a rastreabilidade das inconsistências identificadas entre projeto e execução. Para o registro das verificações, foi utilizada uma planilha que indica o projeto analisado e o ambiente levantado. A planilha classifica os itens nas seguintes categorias:

- Aprovado: quando a execução segue o projeto;
- Reprovado: quando a execução não segue o projeto e a adaptação não é validada, pois não atende ao desempenho esperado;
- Aprovado e projeto será ajustado: quando ocorre uma alteração na execução, validada tecnicamente, sem comprometer o desempenho da instalação;
- Não aplicável: quando o item não se aplica ao ambiente analisado;
- Não executado: quando a instalação não havia sido executada no momento da verificação.

Como instrumentos de verificação, foram utilizadas trenas e um nível laser para auxiliar na medição das alturas dos pontos. As atividades de verificação foram realizadas ao longo de aproximadamente dois dias. Para viabilizar a análise das instalações, foi solicitado à obra que o contrapiso estivesse executado e que as paredes permanecessem sem reboco, de modo a manter visíveis os traçados das instalações.

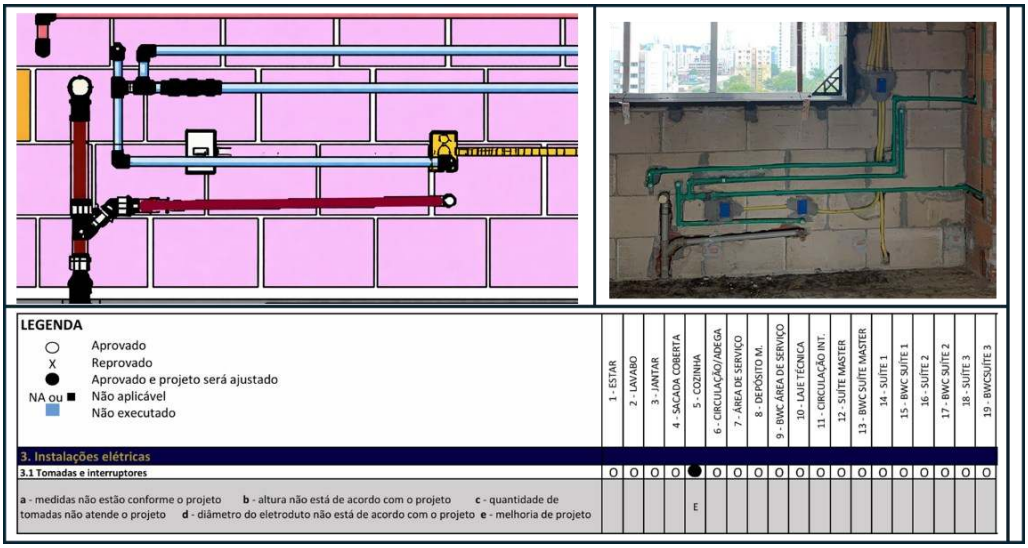
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8734

RESULTADOS E ANÁLISES

Durante a verificação do apartamento protótipo, foram identificadas incompatibilidades entre os projetos executivos e a execução, bem como adaptações realizadas em campo que demandaram revisão dos projetos.

Como exemplo, a Figura 4 apresenta a sobreposição entre dois pontos elétricos e uma tubulação hidráulica. Embora essa solução estivesse compatibilizada no projeto, durante a execução verificou-se a necessidade de ajuste na altura dos pontos elétricos para viabilizar sua instalação. Após validação técnica, a solução foi classificada como "Aprovado e projeto será ajustado", sendo posteriormente incorporada ao projeto executivo.

Figura 4: Comparativo entre compatibilização dos projetos de Alvenaria Paginada, Elétrico e Hidrossanitário e foto da execução. O quadrante de baixo mostra a ficha de vistoria com o respectivo item verificado na disciplina de elétrica



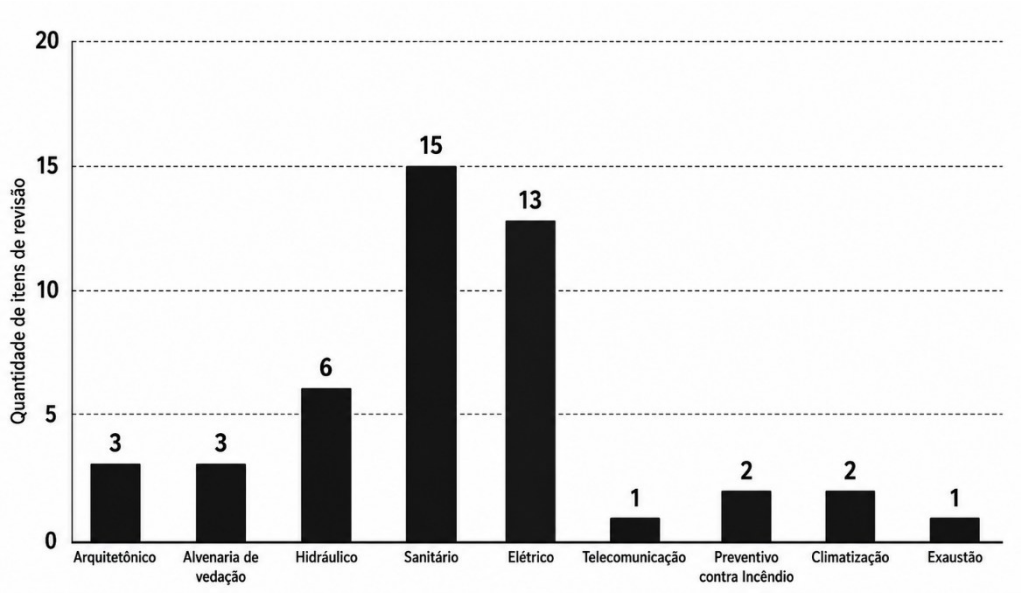
Fonte: o autor.

Observou-se que a execução da maioria das disciplinas estava parcialmente em conformidade com os projetos. Entretanto, destacaram-se as disciplinas pertinentes aos projetos sanitário e elétrico como aquelas com maior necessidade de revisão de projeto, conforme ilustrado na Figura 5.

O maior número de revisões associado a essas disciplinas está relacionado a dois fatores principais: falhas de projeto identificadas durante a execução, que demandaram correções nos documentos projetuais; e adaptações realizadas em obra que, após validação técnica, foram incorporadas aos projetos, resultando nas atualizações.

A maior incidência de revisões nestas disciplinas também sugere maior complexidade de execução e maior suscetibilidade a interferências não previstas, reforçando a necessidade de validação prática complementar à compatibilização digital.

Figura 5: Gráfico representativo dos itens de revisão (por disciplina) que foram identificados no apartamento protótipo.



Fonte: o autor.

Verificou-se que a maioria das divergências identificadas durante a execução esteve associada à dificuldade das equipes executoras na leitura dos projetos e em sua aplicação prática. Houve situações em que as equipes alteraram traçados ou propuseram soluções que não haviam sido consideradas no projeto.

As análises indicaram que, mesmo com a compatibilização em BIM, que integra todas as disciplinas em um modelo tridimensional, ainda podem ocorrer interferências perceptíveis apenas durante a execução prática. Um dos exemplos disso foi a existência de um caminhamento hidráulico que atravessava a prumada elétrica do quadro de distribuição do apartamento. Essa interferência não foi acusada na compatibilização digital, mas observada na análise prática do protótipo (Figura 6).

Figura 6: Parte do projeto hidráulico utilizado na verificação do protótipo, com tubulação cruzando prumada elétrica, locação do quadro elétrico em obra e projeto revisado, com tubulação fazendo traçado alternativo



Fonte: o autor.

A partir das análises realizadas, foi elaborada uma ata com plano de ação (indicada na Figura 7, etapa inserida no processo do apartamento protótipo), na qual foram registrados os itens reprovados e os aprovados com ajuste de projeto.

Os itens incluídos na ata correspondem aos elementos previamente classificados na planilha de verificação. Enquanto a planilha sistematiza os registros em formato de *checklist*, a ata detalha as inconsistências identificadas, as ações corretivas propostas e os responsáveis por sua implementação, direcionando as soluções a serem adotadas.

Figura 7: Cabeçalho e trecho da ata utilizada como plano de ação para a tomada de decisões após verificações do apartamento protótipo

	Título: VALIDAÇÃO APARTAMENTO PROTÓTIPO					CÓDIGO:	RQ72
						REVISÃO	00
	EMPREENDIMENTO:	x				DATA REUNIÃO	
	ETAPA:	VALIDAÇÃO APARTAMENTO PROTÓTIPO - SEGUNDA PARTE DA PRIMEIRA ETAPA - SET				REVISÃO DAS INFORMAÇÕES	R00
	OBJETIVO:	VALIDAR TIPO PADRÃO				DATA DE ATUALIZAÇÃO	
	PARTICIPANTES:	x				RESPONSÁVEL:	
ITEM	ASSUNTO	SITUAÇÃO	AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO	STATUS	OBSERVAÇÕES / CROQUI
	HIDRAULICO						
1	COZINHA	Alteração caminhamento próximo a coifa	Será revisado em projeto e atualizado.	João.	18/10/2023	CONCLUÍDO.	
2	A.S.	Alteração do caminhamento que passava pelo centro do quadro elétrico	Será revisado em projeto e atualizado.	João.	18/10/2023	EM ANDAMENTO.	

Fonte: o autor.

As análises e a ata, com a indicação da tomada de decisão para cada item identificado, resultaram em correções de execução e revisão de projetos, contribuindo para a diminuição dos chamados de obra do apartamento tipo e reforçando o apartamento protótipo como ferramenta estratégica para sanar dúvidas dos executores. Esse mecanismo de registro e antecipação de decisões converge com os princípios do *Lean Construction* discutidos por Olivieri [8] e Koskela [10], segundo os quais a remoção prévia de restrições e a estruturação do fluxo de informações entre projeto e produção reduzem a necessidade de decisões reativas em obra.

Após a verificação dos pontos hidrossanitários, iniciou-se a montagem dos kits hidráulicos (Figura 8), com os sistemas já validados. Essa etapa acelerou o processo produtivo e aprimorou o controle dos materiais necessários, reduzindo riscos de escassez durante a execução.

Figura 8: *Pipe Shop* criado para montagem dos kits de instalações hidráulicas



Fonte: o autor.

Como aspecto positivo, observou-se uma redução de retrabalhos após a implantação do apartamento protótipo, quando comparada à experiência da equipe técnica em obras anteriormente executadas pela mesma construtora. Essa redução não foi mensurada por indicadores quantitativos específicos, sendo identificada a partir dos registros em ata, da diminuição de chamados de obra relacionados à unidade prototipada e da avaliação técnica das equipes envolvidas. Tal percepção está associada a impactos relevantes no processo produtivo: a diminuição de correções não previstas contribui para uma execução mais previsível, favorecendo o cumprimento dos prazos; além disso, pode implicar redução dos custos com mão de obra e diminuição da geração de resíduos. Em síntese, a redução percebida de retrabalhos representa um ganho associado à prototipagem, uma vez que seus efeitos se refletem em diferentes dimensões do processo produtivo, como qualidade, custo, prazo e sustentabilidade do empreendimento. Esse resultado está alinhado ao que Saffaro [6] descreve como benefícios da prototipagem para a capacidade técnica e organizacional das equipes, refletidos na redução de prazos e custos. As principais contribuições observadas nos processos analisados foram sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1: Quadro-síntese das principais contribuições observadas com a prototipagem física

Categoria analisada	Evidência no estudo de caso	Contribuição para o processo
Compatibilização	Identificação de interferências não percebidas no modelo digital	Complementa a análise BIM e apoia a revisão dos projetos
Comunicação	Redução de dúvidas e chamados de obra após as verificações	Melhora o fluxo de informações entre projeto e execução
Planejamento	Validação prévia dos sistemas antes da repetição nos pavimentos	Reduz decisões reativas e aumenta a previsibilidade da execução
Produção	Montagem de kits hidráulicos após validação dos pontos	Apoia a padronização e reduz riscos de retrabalho
Qualidade	Revisão de projetos e ajustes executivos antes da replicação	Contribui para a melhoria do produto final

Fonte: o autor.

No que se refere às limitações na etapa projetual, observou-se a dificuldade de compreensão de detalhamentos gráficos por parte da equipe executiva, o que se vincula à qualidade dos projetos. Nota-se a importância do desenvolvimento de uma graficação projetual adequada, trazendo legibilidade às informações contidas para que não ocorram erros de execução, inserindo mais informações, detalhes e até mesmo observando como estão representadas as cotas nos projetos, o que resulta em um impacto positivo no processo executivo.

Quanto às limitações na etapa executiva, observou-se a necessidade de adequação de cronogramas das equipes executoras, ou seja, de travar a execução nos pavimentos, aguardando a validação do protótipo. Dessa forma, reduzem-se as variabilidades executivas entre pavimentos, situação que também foi identificada na execução de empreendimentos anteriores. Essa questão poderá ser solucionada com a previsão de etapa de prototipagem no cronograma geral do empreendimento.

CONCLUSÃO

A análise realizada evidenciou que a prototipagem física desempenha um papel relevante na identificação antecipada de incompatibilidades entre disciplinas, contribuindo para a melhoria da interface entre projeto e execução. A partir do estudo de caso, observou-se que, mesmo com a utilização de ferramentas de compatibilização digital, como o BIM, determinadas interferências apenas se tornam evidentes durante a execução, o que reforça as limitações dos modelos digitais em representar integralmente as condições reais de obra.

Os resultados também indicaram que a prototipagem favorece a comunicação entre as equipes envolvidas, ao aproximar o conteúdo técnico dos projetos da realidade construtiva, reduzindo incertezas e a necessidade de decisões reativas em campo. Além disso, a concentração de revisões em determinadas disciplinas evidencia a

importância da validação prática como complemento às etapas de projeto, especialmente em sistemas com maior complexidade de execução.

Dessa forma, a prototipagem física não deve ser compreendida apenas como uma etapa operacional, mas como um mecanismo estratégico de antecipação de falhas e de aprendizado organizacional, capaz de qualificar o processo produtivo e aumentar a confiabilidade da execução. Sua aplicação contribui para a redução de retrabalhos, para a melhoria da qualidade final do empreendimento e para a consolidação de práticas mais integradas entre as equipes de projeto e obra.

Por fim, destaca-se que este estudo contribui ao demonstrar o papel complementar da prototipagem física em relação à compatibilização digital, indicando que a integração entre essas abordagens constitui um caminho promissor para o aprimoramento dos processos na construção civil. Como limitação, destaca-se que a análise se restringe a um único empreendimento e a uma unidade prototipada, o que limita a generalização dos resultados. Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a investigação para outras tipologias construtivas e incorporar indicadores quantitativos relacionados à redução de chamados de obra, retrabalhos, custos, prazos e geração de resíduos.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o autor utilizou a ferramenta Claude.AI para revisão geral do texto. Após a utilização da ferramenta, o autor revisou e editou o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] PALHAIS, C. **Prototipagem: uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto.** 2015. 153 f. Dissertação (Mestrado em Design de Equipamento) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

[2] ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 2. ed. London: McGraw-Hill, 2000.

[3] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

[4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19650-1:2018: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM): information management using building information modelling: concepts and principles**. Geneva: ISO, 2018.

[5] MELHADO, S. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. 308 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

[6] SAFFARO, F. **O uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. 2007. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

[7] CAMINHA, T. F. **A prototipagem física de alta fidelidade: uma abordagem de design para projetos na construção civil**. 2020. 181 f. Dissertação (Mestrado em Design) –

Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

[8] OLIVIERI, H. **Lean construction & planejamento na prática: roteiro e lições práticas para a implementação do lean no planejamento e controle da produção de obras**. Joinville: Clube de Autores, 2025.

[9] SANTOS, E.; BARBOZA, A.; FERRO, F. **A utilização da prototipagem no processo projetual: uma ferramenta para obtenção da racionalização de resíduos sólidos da construção civil**. In: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 5., 2017, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ENSUS, 2017. DOI: https://doi.org/10.29183/2596-237x

[10] KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Stanford University, Center for Integrated Facility Engineering, 1992. Technical Report n. 72.

[11] IMAI, M. **Gemba Kaizen: uma abordagem de bom senso para uma estratégia de melhoria contínua**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

[12] YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.