

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FAGNER PEIXOTO

**A CONTRIBUIÇÃO DOS PROTÓTIPOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS MULTIPAVIMENTOS**

São Paulo

2024

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FAGNER PEIXOTO

**A CONTRIBUIÇÃO DOS PROTÓTIPOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS MULTIPAVIMENTOS**

Versão original

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Especialista em Tecnologia
e Gestão na Produção de Edifícios

Orientador:

Prof. Carlos Eduardo Grazina

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-Publicação

DOS ANJOS, FAGNER PEIXOTO
A CONTRIBUIÇÃO DOS PROTÓTIPOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS
RESIDENCIAIS MULTIPAVIMENTOS / F. P. DOS ANJOS -- São Paulo, 2024.
74 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.PROTOTIPOS I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli Integra II.t.

Referência bibliográfica ao trabalho de monografia: Autor. **A contribuição dos protótipos na construção de edifícios residenciais multipavimentos. 2024.** Número de páginas p.: **74** il. Monografia (Especialidade em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) Universidade de São Paulo, São Paulo, **2024.**

Aprovado em: **QUATRO DE NOVEMBRO DE 2024**

Banca Examinadora

Orientador: **Prof. M. Eng. Carlos Eduardo Grazina**

Instituição: **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

Julgamento: **APROVADO**

Examinador 1: **Prof. M. Eng. Alexandre Amado Britez.**

Instituição: **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

Julgamento: **APROVADO**

Examinador 2: **Prof. Dr. Luiz Sérgio Franco**

Instituição: **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

Julgamento: **APROVADO**

Examinador 3: **Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso**

Instituição: **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

Julgamento: **APROVADO**

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia ao meu falecido pai Roque Oliveira dos Anjos, que sempre foi um exemplo de dedicação, honestidade e lealdade. Infelizmente ele não pode acompanhar parte desta história, mas de onde estiver tenho certeza, que está sempre me orientando.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus, família e amigos.

Agradeço minha esposa Fernanda Carvalho Borges pelo apoio e colaboração no processo de execução desta monografia, sempre incentivando para eu não desanimar. Agradeço também a minha filha Camila Victoria Borges Peixoto, pelo entendimento e compreensão das tantas horas ausente em nossa residência.

Agradeço aos meus pais, Roque Oliveira dos Anjos (in memorian) e Maria Jose Peixoto dos Anjos, que sempre me incentivaram sobre os estudos, e me orientaram sobre respeito, educação e honestidade.

Agradeço muito ao meu irmão Rafael Peixoto dos Anjos, pela compreensão e ajuda de sempre.

Não posso deixar de agradecer também aos professores:

- Professor Msc Carlos Eduardo Grazina, por me orientar neste projeto, dedicando tempo para orientar e caminhar para a conclusão desta monografia.

-Professor Dr. Francisco Cardoso e a professora Dra. Mércia Maria Bottura Barros, pelo empenho e dedicação na coordenação desta monografia, nesta instituição tão conceituada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Teoria do protótipo	21
Figura 2 – Protótipo de estrutura metálica de William Le Baron Jenney	24
Figura 3 – ARCHCAD BIM em 1984	25
Figura 4 – Ciclo da prototipagem	26
Figura 5 – Ciclo da prototipagem rápida	29
Figura 6- Interface do software AutoCAD	31
Figura 7 – Modelo digital de um edifício utilizando a metodologia BIM	32
Figura 8 – Prototipagem digital com a utilização do BIM	32
Figura 9 – Mockup de componentes estruturais em construção civil	34
Figura 10 – Modelagem digital de sistema hidráulico em um edifício multipavimentos	44
Figura 11 - Edifício Residencial de Múltiplos Pavimentos em São Paulo	47
Figura 12- Localização do Edifício Residencial em São Paulo	48
Figura 13 - Planta Baixa do Apartamento Tipo	48
Figura 14 - Detalhamento do Sistema Hidráulico na Planta Baixa do Apartamento	49
Figura 15 - Detalhamento Vertical do Sistema de Tubulações	50
Figura 16 – Hall de serviço	56
Figura 17 – Conjunto de <i>manifolds</i> no banheiro de serviço	58
Figura 18 – Kits e mangueiras para as conexões	58
Figura 19 - Recomendações para a implementação de protótipos	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de Prototipagem em Diferentes Setores da Construção Civil.....	39
Tabela 2 – Checklist para testes e simulações iniciais	54
Tabela 3 – Cronograma de implementação do protótipo	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	American Institute of Architects
B2C -	Business-to-Consumer
CNC -	Controle Numérico Computadorizado
PEX -	Polietileno Reticulado
PPR -	Polipropileno Copolímero Randomizado.
PVC -	Policloreto de Vinila

RESUMO

Os protótipos desempenham papel fundamental na concepção e desenvolvimento de edifícios de multipavimentos, permitindo experimentação, otimização e validação de projetos arquitetônicos, estruturais, sistemas prediais, entre outros. Sua contribuição abrange desde a análise de materiais até a simulação de condições reais de uso, impulsionando a inovação na construção civil. Esta pesquisa tem por objetivo analisar a contribuição dos protótipos na construção de edifícios residenciais multipavimentos e propor recomendações para a elaboração de protótipos em futuros projetos. A metodologia empregada neste trabalho consistiu em duas etapas principais: uma revisão qualitativa bibliográfica e um estudo de caso. Essa estratégia metodológica foi adotada visando obter uma compreensão dos impactos da implementação de protótipos no processo construtivo de uma construtora de médio porte, com foco na otimização dos sistemas hidráulicos em edifícios multipavimentos. Os resultados do presente estudo destacam que a construtora analisada enfrenta desafios no processo construtivo, especialmente relacionados aos sistemas hidráulicos, que causam atrasos e custos adicionais. A implementação de um protótipo fora do canteiro de obras foi proposta como uma solução inovadora. Esse protótipo permitiu a simulação e validação prévia das soluções hidráulicas propostas, resultando em melhorias significativas na eficiência e qualidade da construção. O cronograma do protótipo foi planejado para garantir sua integração eficaz ao processo construtivo, contribuindo para minimizar atrasos e custos adicionais.

Palavras chaves: Prototipagem. Construção civil. Sistemas hidráulicos. Eficiência operacional.

ABSTRACT

Prototypes play a fundamental role in the design and development of multi-story buildings, allowing experimentation, optimization and validation of architectural, structural projects, building systems, among others. Its contribution ranges from material analysis to the simulation of real conditions of use, driving innovation in civil construction. This research aims to analyze the contribution of prototypes in the construction of multi-story residential buildings and propose recommendations for the development of prototypes in future projects. The methodology used in this work consisted of two main stages: a qualitative bibliographic review and a case study. This methodological strategy was adopted to obtain an understanding of the impacts of implementing prototypes in the construction process of a medium-sized construction company, with a focus on optimizing hydraulic systems in multi-floor buildings. The results of this study highlight that the construction company analyzed faces challenges in the construction process, especially related to hydraulic systems, which cause delays and additional costs. Implementing a prototype outside the construction site was proposed as an innovative solution. This prototype allowed the simulation and prior validation of the proposed hydraulic solutions, resulting in significant improvements in construction efficiency and quality. The prototype schedule was planned to ensure its effective integration into the construction process, helping to minimize delays and additional costs.

Keywords: Prototyping. Construction. Hydraulic systems. Operational efficiency.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contexto.....	13
1.2 Objetivo geral	15
1.3 Justificativa.....	15
1.4 Métodos de pesquisa	18
1.5 Estruturação do trabalho	18
2. PROTOTIPAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: TECNOLOGIAS, BENEFÍCIOS E INTEGRAÇÃO ESTRATÉGICA	20
2.1 Teoria do protótipo, conceito e validação.....	20
2.2 Primeiras utilizações da prototipagem na indústria	23
2.3 Ciclo da prototipagem	25
2.4 Conceitos-chave na construção do protótipo.....	28
2.4.1 Prototipagem Rápida.....	29
2.4.2 Modelagem digital.....	30
2.4.3 Building Information Modeling (BIM)	31
2.4.4 Mockup	33
2.5 Importância da prototipagem na construção civil.....	35
2.6 Integração do protótipo no cronograma da obra.....	37
2.7 Tecnologias e ferramentas para prototipagem de sistemas hidráulicos	40
3. ESTUDO DE CASO	43
3.1 Contextualização: apresentação da construtora	43
3.2 Identificação do problema.....	43
3.3 Desenvolvimento do protótipo	48
3.4 Descrição das modificações	53
3.5 Viabilidade do protótipo atrelado ao cronograma de execução da obra	56
3.6 Elaboração de Recomendações para a Implementação de Protótipos	57
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXO A- PROJETO HIDRÁULICOS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A construção de edifícios multipavimentos apresenta uma série de desafios significativos que demandam expertise e planejamento para superá-los (CAMINHA, 2020). Além disso, de acordo com Paiva e Monteiro (2021), a logística de obra em espaços verticais apresenta desafios adicionais, como o gerenciamento eficiente de materiais, equipamentos e mão de obra em ambientes restritos.

A coordenação entre diferentes equipes e disciplinas também se torna essencial para evitar conflitos e garantir a integração em todos os sistemas do edifício. Dentre diversas disciplinas aplicáveis na construção de um edifício, os sistemas prediais, em particular nas instalações hidráulicas, requerem dedicada atenção dada a complexidade e riscos de falhas, além de consequências caso isso ocorra no período de uso e operação do edifício.

De acordo com Lacopo *et al.* (2023) e Dariva *et al.* (2018), como parte integrante dos sistemas prediais de um edifício, os sistemas hidráulicos desempenham um papel fundamental na garantia do funcionamento adequado das instalações, impactando diretamente na qualidade final do empreendimento.

Na literatura, observa-se que, de acordo com Pantoja (2020), a complexidade dos sistemas de abastecimento de água potável, esgoto e águas pluviais em um contexto verticalmente expandido gera dificuldades adicionais de coordenação e integração. A necessidade de adaptações e ajustes frequentes nos projetos hidráulicos para atender às especificidades do projeto contribui para a ocorrência de retrabalho e atrasos na execução da obra (PANTOJA, 2020).

O que aumenta esta complexidade na execução dos serviços são as variações possíveis de materiais, diâmetros e conexões para atender a cada subitem do sistema predial hidráulico. Para atender as demandas de cada solução, muitas vezes no mesmo projeto há especificações de materiais como cobre, PVC, PPR, PEX em uma mesma área técnica de passagem de prumada ou shaft.

Para mitigar esses desafios e garantir a eficiência do processo construtivo, Santos *et al.* (2021) destacam a importância de antecipar e prever possíveis problemas em cada

etapa. Isso requer uma análise detalhada do projeto e a realização de testes e simulações antes da execução completa.

Nesse contexto, a prototipagem, processo iterativo de criação, teste e validação de protótipos, desempenha um papel fundamental na construção de edifícios multipavimentos, especialmente quando integrada de forma estratégica ao cronograma da obra. Ao adotar a prototipagem em diversas etapas do processo construtivo, é possível antecipar possíveis problemas, testar soluções e otimizar o desempenho do empreendimento como um todo (MENEZES *et al.*, 2019).

Já o protótipo é uma representação tangível ou digital de um produto, sistema ou componente, criada para simular ou testar aspectos específicos do projeto antes de sua execução final. Ele pode assumir diferentes formas, como maquetes físicas, modelos digitais ou sistemas simplificados, dependendo do objetivo e do estágio do processo. Além de permitir a simulação, o protótipo oferece uma oportunidade para testar novas tecnologias e metodologias construtivas, possibilitando a avaliação de sua viabilidade e impacto no processo construtivo, contribuindo diretamente para a otimização e inovação dos projetos. (MELO *et al.*, 2021).

De acordo com Pontes e Menech (2019), isso se traduz em benefícios tangíveis, como a redução de retrabalhos, o aumento da eficiência operacional e a garantia de conformidade com as normas e regulamentações vigentes. Além disso, a prototipagem permite a avaliação de novas tecnologias, materiais e métodos construtivos, contribuindo para a inovação e a busca por práticas mais sustentáveis na construção civil.

Dessa forma, o estudo ressalta a importância de uma abordagem estratégica que incorpore a prototipagem em todas as etapas do processo construtivo, com foco específico no sistema hidráulico. Essa integração deve ser cuidadosamente alinhada ao cronograma da obra para assegurar sua eficácia e viabilidade.

Além disso, a importância comercial da prototipagem na construção civil multipavimentos é inegável, pois proporciona aos potenciais clientes uma experiência visual tangível e segura do empreendimento em desenvolvimento. Ao visitar a obra e ter acesso aos protótipos das diferentes fases construtivas, os clientes podem visualizar o projeto final de forma mais concreta, e sentir uma maior segurança em relação à qualidade, aos materiais utilizados e aos padrões de segurança adotados (SANTOS E ROCHA, 2020). Conforme Caminha *et al.* (2020), essa experiência ajuda a construir a

confiança dos clientes, aumentando suas chances de fechar negócio e contribuindo para o sucesso comercial do empreendimento.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é analisar a contribuição dos protótipos na construção de edifícios residenciais multipavimentos e propor recomendações para a elaboração de protótipos em futuros projetos.

1.3 Justificativa

A evolução contínua da gestão da produção na construção civil é impulsionada tanto pelas inovações tecnológicas quanto pelas novas metodologias construtivas. É essencial compreender essa evolução, pois ela representa o cerne para associar a produção de protótipos como ferramentas de apoio fundamentais para o setor.

Nas edificações de múltiplos pavimentos, identifica-se uma lacuna significativa relacionada à variabilidade de interfaces e às incertezas desde a fase de concepção do projeto até a concretização da obra, o que impacta diretamente na eficiência e qualidade do processo construtivo. A redução dessas incertezas e variações é essencial para impulsionar o progresso do processo construtivo no empreendimento.

A justificativa para investigar a contribuição dos protótipos na construção de edifícios residenciais multipavimentos está na busca pela melhoria da qualidade do projeto executivo, na qual a coordenação eficiente e o uso de tecnologias são de grande interesse. Além disso, a qualificação da mão de obra, tanto na coordenação de projetos quanto na execução dos serviços, é fundamental para garantir a conformidade com o que foi projetado e minimizar erros.

Neste sentido, compreende-se que a qualidade do projeto executivo é um fator determinante para o sucesso de edificações de múltiplos pavimentos, especialmente quando há a integração de tecnologias como o *Building Information Modeling* (BIM). A coordenação efetiva de um projeto BIM permite uma maior aplicabilidade pela equipe de obra, facilitando a compreensão das interfaces multidisciplinares e promovendo a detecção precoce de incompatibilidades e conflitos. Essa abordagem multidisciplinar integra arquitetos, engenheiros e demais profissionais em um ambiente colaborativo,

garantindo que todas as disciplinas estejam alinhadas e minimizando retrabalhos durante a fase de execução.

Já a qualificação da mão de obra de coordenação de projetos é igualmente fundamental para garantir a eficiência do processo construtivo. Profissionais capacitados com conhecimentos técnicos e habilidades em leitura de projetos são essenciais para identificar potenciais "clash detections" antes do início da construção. Essa capacidade de antecipar problemas evita interferências e conflitos durante a execução, reduzindo custos e prazos. Além disso, uma equipe de coordenação bem treinada pode gerenciar melhor a aplicação de protótipos como ferramentas de validação, assegurando que as soluções projetadas sejam tecnicamente viáveis e alinhadas com as melhores práticas do setor.

A mão de obra de execução também desempenha um papel de grande importância na materialização do projeto com qualidade e eficiência. A qualificação dos profissionais envolvidos na execução dos serviços é imprescindível para garantir a conformidade com o que foi projetado, observando critérios de tolerância ao erro. O seguimento das especificações técnicas e dos detalhes construtivos previstos no projeto executivo reduz a ocorrência de desvios e garante a uniformidade da obra, promovendo um padrão elevado de qualidade. A execução adequada dos serviços, alinhada aos protótipos previamente desenvolvidos, assegura que os detalhes críticos sejam compreendidos e aplicados corretamente, minimizando inconsistências e falhas na edificação final.

Logo, observa-se que a qualidade da execução impacta diretamente no resultado final da obra, influenciando a eficiência, a sustentabilidade e o desempenho do edifício.

Insta frisar que, também, o aprendizado acumulado entre diferentes obras representa um aspecto fundamental na melhoria contínua do setor da construção civil. A sistematização de experiências anteriores, por meio da repetição de soluções vencedoras e da observação de inovações, permite que equipes de projeto e execução aprimorem continuamente suas práticas. Esse acúmulo de conhecimento facilita a identificação de estratégias eficazes e a adoção de inovações que contribuam para a eficiência construtiva e a qualidade dos empreendimentos.

A melhoria contínua na construção civil é um processo que envolve a otimização de todos os aspectos do empreendimento, desde o planejamento até a execução, e passa pela administração eficiente dos recursos materiais. Segundo Silva et al. (2023), a

administração de recursos materiais é uma matéria fundamental a ser incorporada na cultura empresarial do setor, pois sua gestão eficaz é fundamental para o desenvolvimento das atividades, o aumento da produtividade e a redução de custos. A gestão adequada dos materiais contribui para a minimização de desperdícios, a eficiência na utilização dos insumos e a execução de serviços de alta qualidade. Além disso, a administração dos recursos materiais impacta diretamente na sustentabilidade dos projetos, ao promover práticas construtivas mais conscientes e alinhadas aos princípios de economia e eficiência.

Dessa forma, a implementação de estratégias de gestão de materiais se revela como um elemento chave para a melhoria contínua dos processos e para a garantia de resultados mais sustentáveis e econômicos nos empreendimentos da construção civil. A aplicação de protótipos é um recurso relevante nesse contexto, pois oferece uma oportunidade de testar novas soluções, avaliar seu desempenho e replicá-las em futuras obras com maior segurança e eficácia.

Nesse sentido, a contribuição do protótipo se mostra essencial, integrando a parte teórica com a prática do processo construtivo. Ao criar e validar um protótipo que seja aceito por todas as partes envolvidas, a equipe executora obtém uma referência precisa e prática do que deve ser seguido, o que resulta em uma produção em escala mais eficiente, otimizada e racional dos processos e mecanismos envolvidos, dando início à padronização do produto.

A relevância social deste estudo reside na capacidade de melhorar a qualidade das construções, garantindo ambientes seguros e duráveis para os usuários finais, além de contribuir para a redução de retrabalhos, desperdícios e custos excessivos. No âmbito acadêmico, este estudo amplia o conhecimento sobre as práticas de prototipagem na construção civil, oferecendo contribuições importantes para futuras pesquisas e desenvolvimentos na área.

Profissionalmente, a implementação eficaz de um cronograma de protótipos pode beneficiar significativamente as empresas do setor, promovendo uma gestão mais eficiente dos projetos, aumento da produtividade, redução de falhas e maior satisfação dos clientes. Portanto, este estudo visa evidenciar a contribuição do protótipo para o processo construtivo de edifícios de múltiplos pavimentos, com foco nos sistemas prediais, a fim de ilustrar as boas práticas da prototipagem no momento correto do cronograma, visando à padronização e otimização do processo construtivo em geral.

1.4 Métodos de pesquisa

A metodologia empregada nesta pesquisa consistiu em duas etapas principais: uma revisão qualitativa bibliográfica e um estudo de caso. Essa estratégia metodológica foi adotada visando obter uma compreensão dos impactos da implementação de protótipos no processo construtivo de uma construtora de médio porte, com foco na otimização dos sistemas hidráulicos em edifícios multipavimentos.

Na primeira etapa, a revisão qualitativa bibliográfica, foram selecionadas fontes de pesquisas e publicações que abordassem temas relacionados à implementação de protótipos na construção civil. Também foram selecionadas citações bibliográficas focadas nos sistemas prediais hidráulicos e melhorias na eficiência operacional e qualidade das instalações.

A segunda etapa da metodologia consistiu no estudo de caso, que foi realizado em um empreendimento residencial multipavimentos de uma construtora de médio porte selecionada como objeto de investigação. O estudo de caso envolveu uma abordagem empírica e prática, buscando compreender a experiência específica dessa construtora ao implementar protótipos para otimizar os sistemas hidráulicos em edifícios multipavimentos. Foram coletados dados com profissionais envolvidos no processo, observação direta das atividades e análise de documentos técnicos relacionados.

A revisão bibliográfica foi realizada com base em critérios que garantissem a inclusão de fontes relevantes e a análise crítica dos dados apresentados. Já o estudo de caso foi conduzido com respeito aos princípios de confidencialidade, consentimento informado e proteção dos participantes.

1.5 Estruturação do trabalho

A estruturação do trabalho inicia-se com uma pesquisa bibliográfica e literaturas focadas na compreensão do protótipo, desde sua conceituação até a prototipagem na construção civil, destacando seu processo de validação, benefícios e integração estratégica. Em complemento, é explorada a integração do protótipo no cronograma da obra, enfatizando sua relevância no contexto do processo construtivo.

No capítulo subsequente, é apresentado o estudo de caso, que inicia com a contextualização da construtora e a identificação do problema a ser abordado.

Posteriormente, são detalhados o desenvolvimento, as modificações implementadas e a viabilidade do protótipo em relação ao cronograma de execução da obra, fornecendo uma visão prática dos resultados obtidos.

Finalmente, as considerações finais abordam a consecução dos objetivos propostos, os resultados obtidos e as limitações do trabalho. Além disso, são identificadas melhorias a serem implementadas no processo construtivo, juntamente com sugestões de temas de pesquisa a serem explorados em estudos futuros.

2. PROTOTIPAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: TECNOLOGIAS, BENEFÍCIOS E INTEGRAÇÃO ESTRATÉGICA

O termo "protótipo" tem raízes etimológicas no grego antigo, derivando das palavras "protos" (primeiro) e "typos" (impressão, modelo). Assim, originalmente, "protótipo" referia-se a um modelo inicial ou primeiro exemplar de algo, frequentemente utilizado como referência para futuras produções ou desenvolvimentos (ROCHA *et al.*, 2022).

No contexto histórico, o uso de protótipos remonta a diversas áreas, incluindo a arte, arquitetura, engenharia e fabricação de objetos diversos. Antes da era digital e das tecnologias modernas, os protótipos eram muitas vezes criados manualmente, com materiais como argila, madeira, metal e outros elementos disponíveis (VICENTE *et al.*, 2018).

2.1 Teoria do protótipo, conceito e validação

Inicialmente, abordaremos o conceito de protótipo no âmbito da linguística, uma vez que essa abordagem oferece uma compreensão fundamental sobre como as ideias são organizadas e estruturadas. Na linguística, o protótipo atua como um modelo central ou exemplar dentro de uma categoria, influenciando a maneira como os indivíduos percebem, categorizam e processam informações. Entender essa função cognitiva do protótipo é essencial para, posteriormente, transpor esse conceito para o contexto prático da construção civil, onde o protótipo também desempenha um papel mediador entre uma ideia (o projeto) e sua manifestação física (a obra). Pretende-se, portanto, estabelecer uma base teórica que traz à luz o processo pelo qual conceitos abstratos são traduzidos em formas concretas, fornecendo uma perspectiva mais aprofundada para a análise do uso de protótipos em projetos de construção.

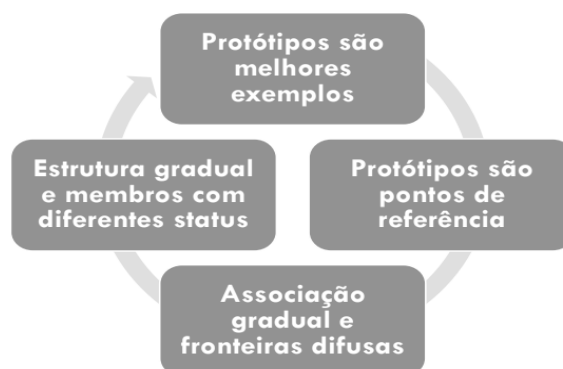
A teoria dos protótipos, em sua essência, relaciona-se ao processo de categorização, fornecendo uma compreensão mais flexível e dinâmica de como os conceitos e categorias são formados e compreendidos. Segundo Rizzatti (2001), a Teoria Prototípica de Categorização proposta por Eleanor Rosch (1973) sugere que a categorização não deve ser interpretada apenas como um conjunto de condições necessárias e suficientes. Em vez disso, Rosch propõe que protótipos representam

exemplares típicos de uma categoria, que ajudam a organizar a informação e facilitar o reconhecimento de padrões.

O processo de categorização na teoria do protótipo relaciona-se diretamente com o desenvolvimento e a aplicação de protótipos na construção civil. Na prática, ao desenvolver protótipos, o processo de categorização permite definir quais soluções ou elementos construtivos podem ser considerados como "melhores exemplos" ou mais adequados para atender aos objetivos do projeto, como eficiência, segurança e sustentabilidade.

Kleiber (1990), em sua versão estendida, propõe que o sentido de um item forma uma categoria cuja estrutura pode gerar efeitos prototípicos, enfatizando que o sentido é influenciado pelas práticas sociais e contextuais. A Figura 1 apresenta os principais conceitos da teoria do protótipo, destacando quatro características centrais.

Figura 1 – Teoria do protótipo



Fonte: Santos (2018)

Primeiro, os protótipos são considerados "melhores exemplos", o que significa que eles representam os elementos mais típicos ou representativos de uma categoria. Essa tipicidade permite que protótipos sejam utilizados como modelos de referência para identificar e classificar novos elementos. Na teoria do protótipo, um protótipo é como um exemplo típico ou ideal de uma categoria. Por exemplo, se pensarmos na categoria "frutas", uma maçã pode ser um protótipo, pois ela tem muitas das características que esperamos em uma fruta. Assim, o protótipo é algo que representa muito bem a categoria e nos ajuda a identificar outros elementos que também pertencem a essa categoria (SANTOS, 2018).

Em segundo lugar, a Figura 1 mostra que os protótipos atuam como "pontos de referência" dentro de uma categoria, facilitando a avaliação e a comparação de outros membros da categoria em relação ao protótipo. Em terceiro lugar, a teoria indica que existe uma "estrutura gradual e membros com diferentes status", sugerindo que dentro de uma categoria, os membros podem ter diferentes níveis de representatividade, onde alguns exemplares são mais prototípicos do que outros. Por fim, a associação entre membros da categoria é "gradual e com fronteiras difusas", indicando que os limites de uma categoria não são rígidos e que a categorização envolve uma certa flexibilidade. No contexto da construção civil, essa teoria auxilia na compreensão de como os protótipos podem ser empregados como modelos de referência para testar e validar soluções construtivas, permitindo uma categorização mais dinâmica e prática das alternativas disponíveis.

Neste sentido, compreende-se que a teoria do protótipo é um conceito amplamente reconhecido em diversos campos, incluindo a construção civil, e refere-se à criação de um modelo preliminar de um produto ou sistema para testar, avaliar e validar suas características e funcionalidades. Na essência, um protótipo serve como uma representação física ou virtual de uma ideia, permitindo a identificação de possíveis melhorias antes da implementação final. Este conceito é essencial para o desenvolvimento de soluções eficientes e inovadoras, pois possibilita a experimentação e a resolução de problemas em uma fase anterior à produção em larga escala (ROCHA et al., 2022).

No âmbito da construção civil, a prototipagem assume um papel estratégico, uma vez que a complexidade e o custo associados à execução de projetos tornam imperativa a minimização de erros e ajustes durante a fase de construção. O protótipo funciona como uma ferramenta de validação que permite a antecipação de desafios, possibilitando uma análise detalhada de aspectos como a viabilidade técnica, a funcionalidade do projeto e a eficiência dos métodos construtivos propostos. Conforme apontado por Vicente et al. (2018), antes da introdução das tecnologias digitais, os protótipos eram criados manualmente, com materiais simples, permitindo a visualização e avaliação das soluções propostas de maneira concreta e tangível.

A validação por meio de protótipos consiste em testar o modelo em um ambiente controlado, observando seu comportamento e desempenho sob diferentes condições. No contexto da construção civil, esse processo pode incluir testes de resistência estrutural, avaliações de funcionalidade, análise de interfaces entre os diversos sistemas construtivos

e a identificação de possíveis incompatibilidades. Essa abordagem é fundamental para garantir que o projeto atenda aos requisitos de qualidade, segurança e eficiência, evitando surpresas durante a fase de execução da obra. A prototipagem também contribui para a melhoria contínua dos processos construtivos, uma vez que possibilita a incorporação de inovações e a otimização das técnicas utilizadas, promovendo um ciclo de desenvolvimento mais dinâmico e adaptável.

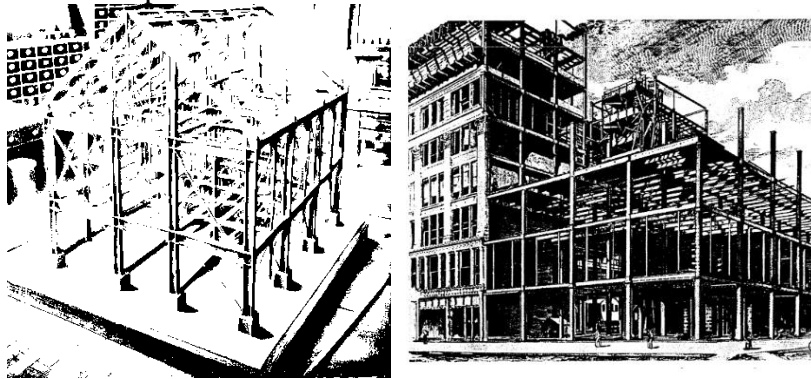
A aplicação de protótipos, portanto, vai além de uma mera representação física do projeto. Ela engloba a análise crítica e a validação das soluções construtivas, promovendo uma integração entre a teoria e a prática.

2.2 Primeiras utilizações da prototipagem na indústria

As primeiras utilizações da prototipagem na indústria e na engenharia de software marcaram um avanço significativo no desenvolvimento de produtos e sistemas. Inicialmente, a prototipagem foi adotada como uma resposta à necessidade de reduzir riscos e melhorar a eficiência no processo de desenvolvimento. Na indústria manufatureira, por exemplo, o uso de protótipos físicos permitiu a validação de componentes e sistemas antes da produção em larga escala, minimizando falhas e otimizando o design final.

Um exemplo de prototipagem na construção civil foi o desenvolvimento dos primeiros edifícios de estrutura metálica em Chicago, nos Estados Unidos. Um caso específico é o protótipo do Edifício Home Insurance (1884-1885), considerado um dos primeiros arranha-céus do mundo e um precursor da arquitetura moderna. Durante seu desenvolvimento, o engenheiro William Le Baron Jenney utilizou um protótipo estrutural inovador: uma estrutura interna de aço que permitia a construção de edifícios mais altos e mais leves do que os tradicionais edifícios de alvenaria maciça. Na época, esse conceito era revolucionário, e a implementação de protótipos foi fundamental para validar a viabilidade e a segurança da estrutura metálica (ver Figura 2).

Figura 2 – Protótipo de estrutura metálica de William Le Baron Jenney



Fonte: Gunnarsjaa (2023)

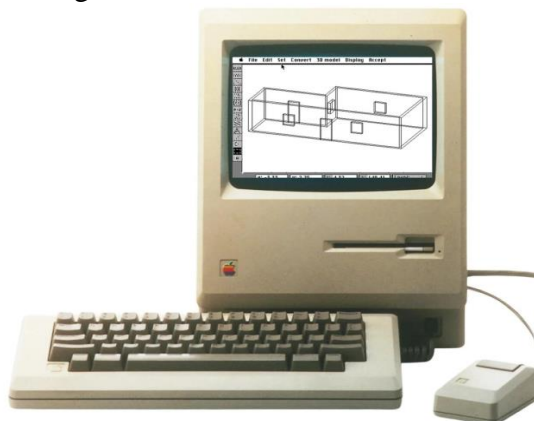
Jenney e sua equipe construíram protótipos em pequena escala e trechos da estrutura em aço para testar sua capacidade de suportar cargas e resistir a forças externas, como o vento. Esses protótipos permitiram a avaliação do comportamento do aço como material de construção, especialmente em termos de sua resistência e elasticidade, aspectos que eram pouco compreendidos na época. A experimentação com protótipos também ajudou a otimizar as conexões entre as vigas e colunas, garantindo a estabilidade do edifício e introduzindo práticas que seriam adotadas em construções futuras. O Home Insurance Building comprovou a eficácia da estrutura metálica, influenciando a construção de arranha-céus em todo o mundo em meados do século XX (BARR, 2024). Essa abordagem permitiu que os edifícios alcançassem alturas inéditas e revolucionou a arquitetura e a engenharia civil, estabelecendo um novo padrão para a construção de edifícios altos.

Esse conceito foi posteriormente incorporado pela engenharia de software, onde a criação de protótipos de sistemas e interfaces desempenhou um papel fundamental na evolução das práticas de desenvolvimento. Na engenharia de software, a prototipagem surgiu como uma metodologia eficaz para lidar com a complexidade crescente dos sistemas e com a necessidade de atender a requisitos que nem sempre eram claros ou completamente definidos no início do projeto (PUBLIO; PEDROSO, 2024).

Um dos primeiros usos da engenharia de software na construção civil foi a introdução do *Building Information Modeling* (BIM). Introduzido nas décadas de 1970 e 1980, o BIM começou como um conceito de modelagem paramétrica e evoluiu para se tornar uma ferramenta de prototipagem digital essencial na indústria da construção (SANTOS *et al.*, 2009). Um exemplo inicial foi o projeto "Graphisoft ArchiCAD" lançado em 1984, que permitiu aos arquitetos e engenheiros criar modelos virtuais de

edifícios com representações 3D precisas das estruturas antes da construção física. A Figura 3 mostra uma imagem de um computador rodando um software BIM em 1984.

Figura 3 – ARHCAD BIM em 1984



Fonte: Nordic BIM Group.

A interface simples e gráfica da época ilustra como os primeiros sistemas de modelagem facilitaram a visualização e o planejamento de projetos arquitetônicos, marcando o início do uso da engenharia de software na concepção e análise de edificações.

De acordo Publio e Pedroso (2024), o desenvolvimento de software permitiu que desenvolvedores e usuários finais tivessem uma representação funcional do sistema, ainda que de forma parcial ou simplificada. Isso facilitou a identificação de problemas e a coleta de feedback dos usuários em estágios iniciais do desenvolvimento, resultando em sistemas mais alinhados às expectativas e necessidades reais. A prática de "prototipagem evolutiva", onde o protótipo é constantemente aprimorado até se tornar o produto final, mostrou-se particularmente útil para projetos complexos e em constante mudança.

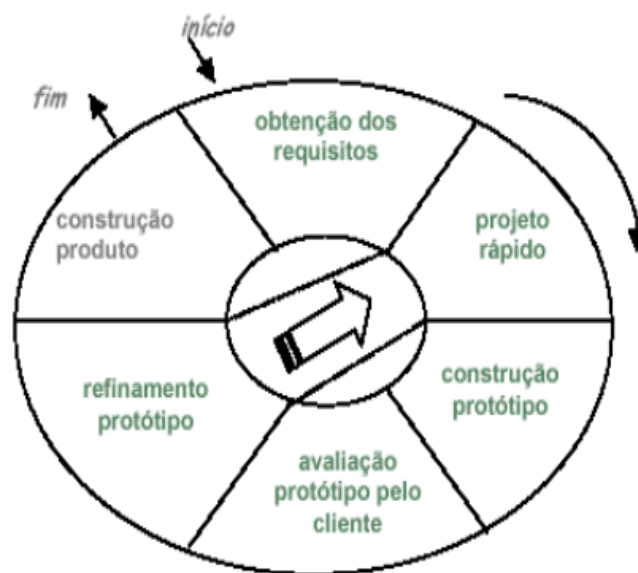
2.3 Ciclo da prototipagem

Segundo Rocha et al. (2022), a prototipagem na fase de desenvolvimento de projetos oferece benefícios significativos para a operação e manutenção de edificações, especialmente em estruturas não residenciais como shopping centers, hotéis e edifícios corporativos. Rocha destaca que, ao antecipar potenciais problemas através da criação de protótipos, é possível reduzir custos decorrentes de trocas, reparos e reformas, ao mesmo tempo em que se melhora o desempenho e a longevidade dos elementos construtivos.

O ciclo da prototipagem é um processo iterativo e sistemático que visa o desenvolvimento e a validação de um projeto, assegurando que ele atenda aos requisitos e expectativas dos envolvidos antes de ser executado em escala real. Este ciclo é composto por diversas etapas, cada uma com um papel para o sucesso do produto (ROCHA *et al.*, 2022). O detalhamento dessas etapas permite compreender as expectativas e os passos-chave envolvidos no processo, garantindo uma prototipagem eficaz.

O desenvolvimento baseado em componentes integra elementos das tecnologias orientadas a objetos ao modelo espiral. Nesse contexto, o processo de engenharia se inicia com a identificação de classes potenciais. Caso uma classe já exista, ela é reutilizada. Se não houver uma classe disponível, ela será desenvolvida de acordo com os princípios da orientação a objetos. Já o modelo de prototipagem começa com a definição dos requisitos do sistema. Em seguida, um projeto rápido é elaborado, focando nos aspectos que serão visíveis ao cliente. O protótipo é então construído, avaliado e ajustado conforme as necessidades do cliente (ver Figura 4).

Figura 4 – Ciclo da prototipagem



b

Fonte: Mondlane (2023)

A primeira etapa é a solicitação/requisitos para atendimento, na qual se identificam e se documentam as necessidades e expectativas dos stakeholders. Esta fase é fundamental, pois estabelece as diretrizes e os critérios que o protótipo deve cumprir. As expectativas aqui incluem a clareza das exigências e a obtenção de uma visão compartilhada entre todos os envolvidos, garantindo que o protótipo a ser desenvolvido

esteja alinhado com os objetivos do projeto. Uma comunicação eficiente e uma coleta de requisitos abrangente são passos-chave para o sucesso dessa etapa (MONDLANE, 2023).

Em seguida, ocorre a fase de projeto ideal, que envolve a elaboração de uma solução teórica baseada nos requisitos previamente identificados. Esta etapa é caracterizada pela criação de um esboço conceitual ou modelo inicial, que representa a melhor solução para o problema proposto. A expectativa é que esse modelo ideal possa atender a todos os requisitos de maneira eficaz, incorporando as melhores práticas e tecnologias disponíveis. Os passos-chave incluem a análise de viabilidade técnica, a definição de especificações e a consideração de possíveis limitações e restrições (ROCHA *et al.*, 2022).

A criação do protótipo é a etapa em que o projeto ideal é materializado em um modelo funcional. Este protótipo pode variar em termos de fidelidade, desde uma versão simplificada até um modelo quase idêntico ao produto final. A expectativa aqui é que o protótipo seja suficientemente robusto para ser avaliado e testado, fornecendo uma representação tangível do conceito. Os passos-chave incluem a construção do modelo, a integração de funcionalidades críticas e a preparação do protótipo para testes (MONTEIRO *et al.*, 2022).

Após a criação, vem a fase de avaliação dos envolvidos, onde os *stakeholders* revisam e fornecem *feedback* sobre o protótipo. Esta etapa é fundamental para identificar se o protótipo atende às expectativas e requisitos definidos inicialmente. A expectativa é que os envolvidos possam destacar possíveis melhorias, falhas ou oportunidades de otimização. Os passos-chave envolvem sessões de revisão, coleta de *feedback* e análise crítica do protótipo (MONTEIRO *et al.*, 2022).

Posteriormente, são realizados os testes gerais, onde o protótipo é submetido a uma série de testes funcionais e de desempenho para avaliar sua eficácia, confiabilidade e adequação. Nesta etapa, espera-se identificar possíveis problemas técnicos e funcionais, garantindo que o protótipo possa operar dentro dos parâmetros estabelecidos. Os passos-chave incluem a execução de testes sob condições variadas, a verificação de conformidade com os requisitos e a documentação dos resultados (ROCHA *et al.*, 2022).

Com base nos resultados dos testes, ocorre a reavaliação dos envolvidos, em que os *stakeholders* revisitam o protótipo à luz dos dados obtidos nos testes. A expectativa aqui é confirmar se as soluções implementadas são satisfatórias ou se há necessidade de

novas iterações. Este é um passo-chave para assegurar que todas as opiniões e *feedbacks* sejam considerados antes de avançar para a próxima etapa (ROCHA *et al.*, 2022).

A retroalimentação do processo é um momento de reflexão, onde as informações coletadas durante as avaliações e testes são analisadas e utilizadas para melhorar o protótipo. O objetivo é refinar o modelo até que ele atenda plenamente aos requisitos. A expectativa é que esta fase contribua para o aperfeiçoamento contínuo do protótipo. Os passos-chave incluem a análise dos *feedbacks*, a implementação de ajustes e a preparação para a próxima avaliação (MONDLANE, 2023).

Com a conclusão satisfatória dessas etapas, procede-se à aprovação final, onde o protótipo é submetido à avaliação final dos envolvidos. A expectativa é que o protótipo atenda a todos os requisitos e esteja pronto para ser transformado em um produto real. Este é um ponto de decisão, onde os stakeholders devem aprovar o modelo para a produção em larga escala. Os passos-chave envolvem a validação final, a revisão de todos os aspectos do protótipo e a formalização da aprovação.

Finalmente, a etapa de desenvolvimento do produto em escala real envolve a produção do produto final com base no protótipo aprovado. Nesta fase, o modelo é produzido em larga escala, utilizando processos industriais. A expectativa é que o produto final seja uma representação fiel do protótipo, incorporando todas as melhorias e ajustes realizados durante o ciclo de prototipagem. Os passos-chave incluem a implementação dos processos de produção, o controle de qualidade e a entrega do produto final.

2.4 Conceitos-chave na construção do protótipo

Os conceitos-chave na construção de protótipos são fundamentais para garantir que o processo de desenvolvimento seja eficiente, preciso e alinhado com os objetivos do projeto. Eles englobam aspectos como a escolha adequada das ferramentas e tecnologias, a definição clara dos objetivos do protótipo, a metodologia de validação adotada e a integração entre as diferentes disciplinas envolvidas. Compreender e aplicar esses conceitos permite que os protótipos sejam construídos de forma a representar fielmente as características do projeto final, possibilitando a identificação precoce de possíveis problemas e a realização de ajustes necessários (MONTEIRO *et al.*, 2022). Na construção civil, essa abordagem é essencial para minimizar riscos, otimizar recursos e assegurar a qualidade e viabilidade da obra antes de sua execução completa (CAMINHA *et al.*, 2020).

Portanto, a aplicação criteriosa desses conceitos-chave é um dos pilares para o sucesso na implementação de protótipos.

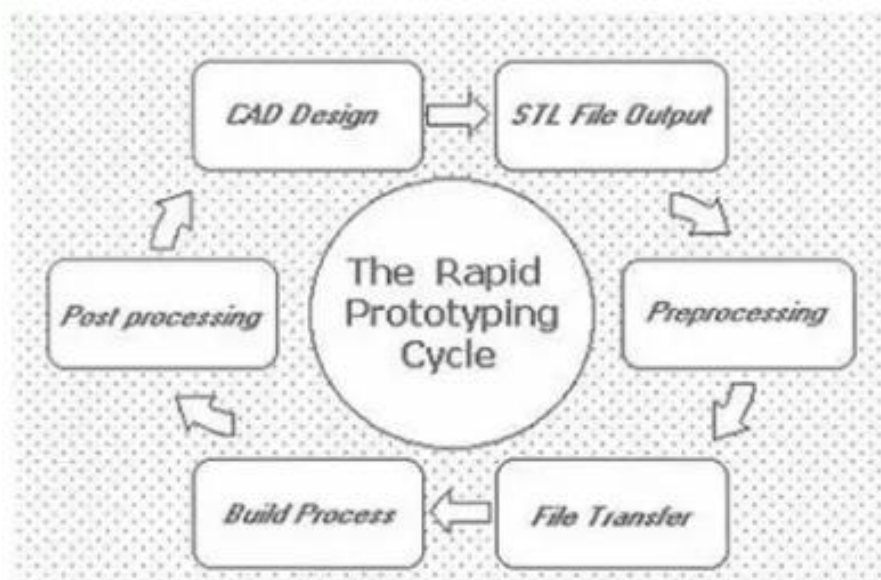
Alguns conceitos-chave são necessários para entender a aplicação de tecnologias que auxiliam na construção do protótipo. De acordo com sua relevância e aplicação na otimização de processos construtivos, Hossain (2019); Corteze (2020) e Queiroz Junior (2024) exemplificam modelos, ferramentas e tecnologias, tais como *Rapid Prototyping* (Prototipagem Rápida); modelagem digital; *Mockup*; BIM; CNC; CFD; e Software CAD.

2.4.1 Prototipagem Rápida

Rapid Prototyping (Prototipagem Rápida): é um conjunto de técnicas utilizadas para rapidamente fabricar um modelo em escala de uma peça física ou montagem, utilizando-se de dados tridimensionais assistidos por computador (CAD). A principal vantagem dessa técnica é a capacidade de produzir protótipos rapidamente e de maneira iterativa, permitindo ajustes e melhorias antes da produção final (CORTEZE, 2020). Esse processo é amplamente utilizado na engenharia, design de produtos e arquitetura, proporcionando uma visualização tangível e funcional dos projetos e facilitando a detecção de possíveis falhas ou melhorias

A Figura 5 ilustra o ciclo da prototipagem rápida, destacando as principais etapas envolvidas no processo.

Figura 5 – Ciclo da prototipagem rápida



Fonte: Morbioli *et al.* (2020)

Inicialmente, há a criação do design no software CAD (Computer-Aided Design), seguido pela conversão deste design em um arquivo STL (Standard Tessellation Language), que é utilizado pelas impressoras 3D. Em seguida, ocorre a etapa de pré-processamento, onde o modelo é preparado para a impressão, incluindo ajustes e orientações. Após essa preparação, o arquivo é transferido para a máquina de prototipagem rápida, iniciando o processo de construção (Build Process). Posteriormente, o protótipo passa por uma etapa de pós-processamento, que pode incluir a remoção de suportes, acabamento superficial e tratamentos adicionais para alcançar a qualidade desejada. Esse ciclo é iterativo, permitindo refinamentos e melhorias no protótipo até que ele atenda aos requisitos especificados.

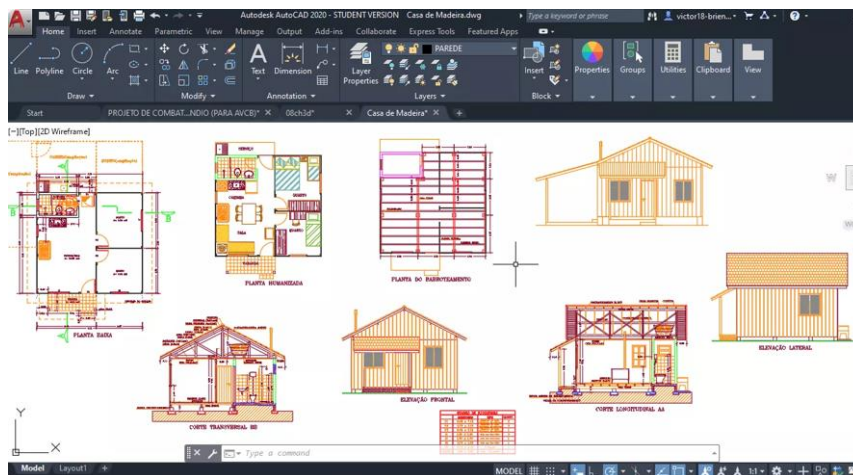
2.4.2 Modelagem digital

A modelagem digital é uma etapa fundamental no processo de prototipagem rápida, pois permite a criação de representações tridimensionais detalhadas e precisas dos objetos a serem produzidos. Por meio de softwares de CAD, os projetistas podem desenvolver modelos virtuais que refletem com exatidão as dimensões, formas e características funcionais do produto final. Essa abordagem busca facilitar a visualização e análise prévia do objeto, bem como permite realizar simulações e ajustes antes da produção física. Dessa forma, a modelagem digital torna-se uma ferramenta indispensável para detectar e corrigir possíveis falhas de projeto, otimizando o produto em termos de funcionalidade, estética e eficiência. Assim, evita-se desperdício de recursos e reduz-se o tempo de desenvolvimento, o que é particularmente valioso em ambientes de inovação e produção ágil (MORBIOLI *et al.*, 2020).

Além disso, a modelagem digital possibilita uma maior interação entre equipes multidisciplinares, como designers, engenheiros e especialistas em materiais, integrando diferentes perspectivas no desenvolvimento do produto. A partir de um modelo digital, essas equipes podem colaborar para ajustar aspectos estruturais, mecânicos e estéticos, garantindo que o protótipo atenda aos padrões desejados. Essa abordagem colaborativa é facilitada pela capacidade dos softwares de CAD de exportar o modelo em formatos amplamente reconhecidos, como o STL, utilizado nas etapas subsequentes de prototipagem rápida (FERREIRA *et al.*, 2022).

A Figura 6 apresenta a interface do AutoCAD, um dos principais softwares de modelagem digital utilizados na arquitetura e na engenharia. O AutoCAD permite a criação de desenhos técnicos e plantas em 2D e 3D, proporcionando precisão e detalhamento na elaboração de projetos arquitetônicos.

Figura 6- Interface do software AutoCAD



Fonte: Autodesk (2024)

Neste exemplo, observa-se um conjunto de plantas, cortes e elevações de uma edificação, ilustrando como o software facilita a visualização e a modificação dos elementos construtivos. A modelagem digital no AutoCAD possibilita uma análise prévia das dimensões, proporções e materiais, bem como a identificação de possíveis interferências entre os componentes do projeto. Essa ferramenta se torna indispensável para a comunicação eficaz entre profissionais, permitindo a exportação de arquivos para outras fases do processo construtivo, como a fabricação automatizada e a implementação no canteiro de obras.

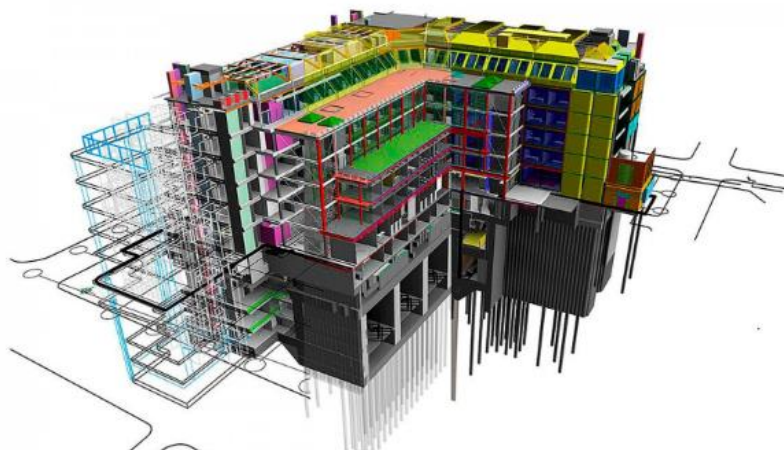
2.4.3 Building Information Modeling (BIM)

O BIM (Building Information Modeling) é uma forma de modelagem digital, mas vai além da simples representação tridimensional dos objetos. O BIM é uma metodologia de trabalho que envolve a criação e o gerenciamento de um modelo digital inteligente que engloba não apenas a geometria do projeto, mas também informações detalhadas sobre os componentes, materiais, custos, cronogramas e outras características relevantes ao longo de todo o ciclo de vida da construção. Essa abordagem multidimensional permite uma análise mais profunda e integrada, facilitando a tomada de decisões, a detecção de

conflitos e a coordenação entre as diversas disciplinas envolvidas em um projeto, como arquitetura, engenharia e construção (AEC) (FERREIRA *et al.*, 2022).

Diferentemente da modelagem 3D convencional, que se concentra na representação visual do objeto, o BIM incorpora dados paramétricos e inter-relacionados que permitem simulações e análises mais complexas, como a verificação de eficiência energética, planejamento de manutenção e controle de custos (ver Figura 7).

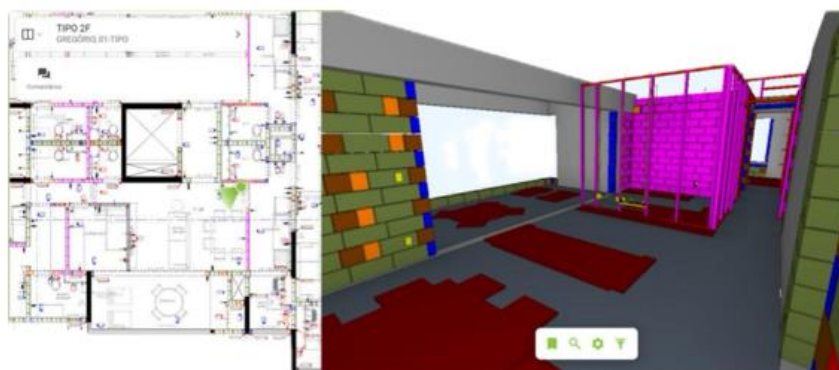
Figura 7 – Modelo digital de um edifício utilizando a metodologia BIM



Fonte: Gehring (2022).

A Figura 8 ilustra um exemplo de validação da modelagem de forma digital utilizando o BIM em um projeto de empreendimento residencial. Essa representação demonstra como o BIM permite a criação de modelos tridimensionais integrados, que incluem não apenas a geometria do edifício, mas também informações detalhadas sobre materiais, sistemas construtivos e cronogramas de execução.

Figura 8 – Validação da modelagem em formato digital com a utilização do BIM



Fonte: Dalux App

A interoperabilidade do BIM possibilita a colaboração em tempo real entre diferentes profissionais, promovendo uma gestão mais eficiente e um fluxo de trabalho mais integrado. Assim, o BIM representa uma evolução da modelagem digital tradicional, oferecendo uma plataforma abrangente para o desenvolvimento, execução e gerenciamento de projetos de construção de maneira mais eficiente, precisa e sustentável (FERREIRA *et al.*, 2022).

Ferramentas como BIM otimizam o planejamento e a execução de projetos, promovendo a sustentabilidade e a redução de custos. A pesquisa "Transformação Digital: O Futuro da Construção Conectada", lançada pela Autodesk, ressalta essa importância ao mostrar que 72% das empresas entrevistadas reconhecem a transformação digital como prioridade. No entanto, o estudo indica que a maioria das empresas do setor ainda está em fases iniciais ou intermediárias de adoção de novas tecnologias, com apenas 13% consideradas maduras nesse processo (MUNDOGEO, 2020). Globalmente, a Europa e as Américas têm apresentado um desempenho superior na inovação da construção civil, destacando a relevância das tecnologias como um diferencial competitivo e um caminho para a modernização do setor.

2.4.4 Mockup

O *mockup* na construção civil é uma maquete ou modelo em escala para a visualização e análise de componentes construtivos antes da sua aplicação definitiva no projeto. Trata-se de uma representação física ou digital de uma parte específica da edificação, como uma fachada, uma parede ou um sistema estrutural, em escala real ou reduzida. A principal vantagem do *mockup* é permitir que a equipe de projeto, engenheiros e clientes avaliem o desempenho, a estética e a funcionalidade dos elementos propostos, identificando possíveis problemas ou necessidades de ajustes. Essa pré-visualização é fundamental para minimizar riscos, uma vez que, ao testar materiais, acabamentos e soluções construtivas em um ambiente controlado, é possível antecipar e corrigir falhas que, caso fossem identificadas apenas durante a construção, poderiam resultar em atrasos, custos adicionais e comprometimento da qualidade da obra (CAMINHA *et al.*, 2020).

Além disso, o uso de *mockups* contribui significativamente para a comunicação entre os diversos atores envolvidos no projeto, facilitando a compreensão das soluções

propostas. Ao apresentar um modelo físico ou uma simulação digital detalhada, as equipes de projeto e execução podem alinhar expectativas e validar especificações técnicas de maneira mais eficiente. Isso se torna especialmente relevante em projetos complexos, onde a coordenação entre diferentes sistemas construtivos é fundamental para o sucesso da obra (CAMINHA *et al.*, 2020). O *mockup* permite, portanto, uma tomada de decisão mais informada, apoiada em dados e observações práticas, resultando em uma construção mais precisa e alinhada com os objetivos de desempenho, sustentabilidade e estética previamente estabelecidos. Em síntese, a aplicação de *mockups* na construção civil é uma estratégia que agrega valor ao projeto, promovendo a excelência na execução e a satisfação das partes envolvidas.

A Figura 9 apresenta um *mockup* de uma estrutura na construção civil, evidenciando a importância dessa ferramenta para a visualização e análise de componentes estruturais.

Figura 9 – *Mockup* de componentes estruturais em construção civil



Fonte: Archdaily (2020).

Nesse exemplo, é possível observar uma representação detalhada da armação de aço e do sistema de suporte, fornecendo uma compreensão clara de como os elementos se conectam e funcionam em conjunto. *Mockups* como este permitem a avaliação da complexidade do sistema, a identificação de possíveis desafios construtivos e a validação das técnicas propostas. Além disso, ao proporcionar uma visão prática e tátil do projeto, esse tipo de mockup facilita a comunicação entre os profissionais envolvidos, como engenheiros e arquitetos, contribuindo para a eficiência e a precisão no processo construtivo.

2.4 Importância da prototipagem na construção civil

De acordo com Caminha *et al.* (2020), a prototipagem na construção civil representa uma abordagem fundamental e estratégica para aprimorar a eficiência e a qualidade dos sistemas construtivos, sobretudo em áreas críticas como os sistemas hidráulicos. Os autores destacam os benefícios significativos proporcionados pela prototipagem nesse contexto específico.

Primeiramente, a prototipagem é reconhecida por sua capacidade de reduzir custos ao longo do ciclo de vida de um empreendimento. Ao permitir a simulação e validação de projetos antes da execução efetiva, os custos relacionados a retrabalhos, correções de falhas e desperdícios de materiais são consideravelmente reduzidos. Isso é particularmente relevante em sistemas hidráulicos, onde pequenos erros podem resultar em problemas graves e custosos no futuro (VICENTE *et al.*, 2018).

Além disso, a prototipagem desempenha um papel relevante na minimização de retrabalhos. Ao identificar e corrigir potenciais falhas durante as fases iniciais do projeto, os problemas são resolvidos antes mesmo de surgirem, evitando interrupções e atrasos no cronograma da obra. (SANTOS *et al.*, 2021).

Outro aspecto importante, conforme destacado por Melo *et al.*, (2021), é a garantia da qualidade final do empreendimento. A prototipagem permite testar e validar as soluções propostas, assegurando que os padrões de desempenho e segurança exigidos sejam atendidos. Casos de sucesso e boas práticas de empresas que adotaram a prototipagem em seus projetos destacam a melhoria na eficiência operacional, a redução de riscos e a satisfação dos clientes como resultados diretos dessa estratégia (VICENTE *et al.*, 2018).

Na era moderna da construção civil, a prototipagem emerge como uma ferramenta inovadora e indispensável, especialmente no contexto dos sistemas prediais. A complexidade e a demanda por eficiência nestes sistemas tornam crucial a utilização de protótipos para garantir a funcionalidade, a segurança e a otimização dos recursos (ALCAIDE; WILTGEN, 2018). Ao antecipar e simular situações reais por meio de protótipos, é possível identificar possíveis falhas, realizar ajustes e refinamentos antes da execução efetiva da obra, reduzindo custos, prazos e retrabalhos (ROCHA *et al.*, 2022)

De acordo com Caminha *et al.* (2020):

Na Construção Civil, que inclui a Arquitetura e Urbanismo, a Engenharia Civil e as Engenharias relacionadas às instalações prediais, há poucos estudos que usam o termo “protótipo” ou “prototipagem”. Quando esses termos são empregados, quase sempre o são em pesquisas que tratam a “prototipagem rápida”, que aborda o uso de tecnologias de fabricação específicas, tais como impressoras 3D e outras Máquinas de Controle Numérico Computadorizado – CNC (CAMINHA *et al.*, 2020, p43).

Caminha *et al.* (2020) abordam a importância da prototipagem na construção civil e destacam a escassez de estudos que utilizam esse termo, salvo quando se trata de "prototipagem rápida" e o uso de tecnologias específicas como impressoras 3D e CNC.

É interessante notar que a prototipagem rápida, através dessas tecnologias avançadas, está se tornando cada vez mais relevante e pode revolucionar a forma como projetos são desenvolvidos e implementados na Construção Civil. A capacidade de criar protótipos físicos de forma rápida e precisa permitem aos profissionais testar ideias, avaliar projetos e realizar ajustes antes da produção em larga escala (ROCHA *et al.*, 2022).

A tabela 1 apresenta uma visão geral de alguns exemplos para diferentes tipos de protótipos utilizados na construção civil, destacando suas finalidades específicas, as tecnologias empregadas e os resultados obtidos

Tabela1 - Exemplos de Prototipagem em Diferentes Setores da Construção Civil

Tipo de Protótipo	Objetivo	Tecnologias/Recursos Utilizados
Sistema Hidráulico em Edifícios Residenciais	Testar eficiência de configurações de encanamento	Maquetes em escala reduzida, simulações de fluxo de água
Fachada de Edifício Comercial	Testar resistência, durabilidade e eficiência energética da fachada	Protótipo em escala real, simulações climáticas e análises estruturais
Sistema de Iluminação Inteligente em Ambientes Corporativos	Testar eficácia em economizar energia e aumentar produtividade	Maquetes interativas, sensores de luz, controle remoto, programação automatizada
Sistema de Monitoramento Estrutural em Pontes	Monitorar integridade das estruturas em tempo real	Sensores de vibração, câmeras de vídeo, software de análise
Sistema Elétrico em Edifícios	Testar eficiência energética, distribuição de carga e segurança elétrica	Maquetes com todos os componentes elétricos, simulação de carga, análise de potência

Fonte: Rocha *et al.*, 2022; Alcaide; Wiltgen, 2018. Adaptada pelo autor (2024).

Os exemplos abrangem desde a prototipagem de sistemas hidráulicos em edifícios residenciais até a criação de sistemas inteligentes de iluminação em ambientes corporativos e o monitoramento estrutural em pontes e viadutos. Cada tipo de protótipo demonstra como a prototipagem é uma ferramenta fundamental para avaliar a eficiência, otimizar o design, garantir a qualidade e economizar recursos durante o processo construtivo (ALCAIDE; WILTGEN, 2018).

2.5 Integração do protótipo no cronograma da obra

O protótipo, como uma representação inicial e tangível do projeto final, desempenha um papel fundamental na identificação precoce de possíveis desafios, na avaliação de soluções alternativas e na otimização do processo construtivo como um todo. Nesse contexto, a integração eficaz do protótipo ao cronograma da obra pode trazer uma série de benefícios tangíveis e intangíveis, contribuindo para o sucesso do empreendimento (SILVA JUNIOR. BATISTA, 2017).

O planejamento de obra desempenha um papel fundamental na implantação eficaz de protótipos, especialmente em projetos de múltiplos pavimentos. Ao adotar uma abordagem estratégica de planejamento, os construtores podem antecipar e mitigar potenciais desafios relacionados à implementação de protótipos, garantindo uma transição suave do estágio de desenvolvimento para a fase de construção.

A partir de um planejamento eficaz permite a alocação adequada de recursos, a definição de metas claras e a coordenação eficiente entre as equipes de projeto e construção. Além disso, proporciona a oportunidade de identificar e resolver questões de logística, segurança e acessibilidade que são particularmente relevantes em obras de múltiplos pavimentos (SAAD, 2017).

A integração estratégica da fase de prototipagem no cronograma da obra é um aspecto essencial para garantir a eficiência e o sucesso do projeto. Estudos e análises demonstram que a correta alocação dessa etapa pode ter um impacto significativo na qualidade, no custo e no prazo da construção (MELO *et al.*, 2021).

Conforme abordado por Lisbôa e Librelotto (2018), ao integrar a fase de prototipagem no início do cronograma da obra, é possível realizar testes e validações essenciais antes da execução efetiva. Isso proporciona a identificação precoce de possíveis falhas ou problemas, permitindo correções e ajustes sem comprometer o

andamento geral da obra. Além disso, essa abordagem contribui para a redução de retrabalhos, uma vez que as soluções são refinadas e aprimoradas durante a fase de prototipagem, evitando modificações significativas posteriormente.

Rocha *et al.* (2022) evidenciam como a integração eficaz do protótipo no cronograma da obra pode influenciar positivamente na eficiência do projeto. Empresas que adotaram essa prática conseguiram reduzir desperdícios, minimizar a ocorrência de problemas durante a execução e garantir uma entrega dentro do prazo estabelecido. Essa abordagem também proporciona uma visão mais clara e detalhada do que será executado, permitindo um planejamento mais preciso das atividades subsequentes.

Isto posto, Caminha *et al.* (2020) destaca que a correta integração do protótipo no cronograma da obra garante a qualidade e a conformidade do processo construtivo, bem como contribui para a otimização dos recursos, a redução de custos e a maximização da eficiência operacional ao longo do processo construtivo.

Na engenharia, a prototipagem física contribui ao permitir a criação de maquetes ou modelos físicos em escala reduzida ou real, facilitando a avaliação de aspectos específicos de um projeto. Segundo Hossain (2019), essa abordagem é útil para testar a eficiência de configurações complexas, como sistemas hidráulicos em construções de múltiplos pavimentos. Ao construir um protótipo físico, engenheiros podem identificar e corrigir falhas antes da implementação no local, reduzindo retrabalhos e custos adicionais. Além disso, a prototipagem física oferece uma visualização tangível das soluções propostas, contribuindo para uma melhor comunicação entre as equipes de projeto e execução.

A prototipagem digital, por sua vez, utiliza a modelagem 3D e simulações computacionais para analisar e visualizar o desempenho de sistemas complexos em um ambiente virtual. Conforme discutido por Caldonho (2024), essa técnica permite realizar ajustes e otimizações sem a necessidade de construir fisicamente o protótipo, economizando tempo e recursos. A prototipagem digital é especialmente eficaz na identificação de problemas de design e na validação de soluções antes da construção real. Essa abordagem melhora a precisão dos projetos e facilita a integração de diversas disciplinas de engenharia, promovendo uma maior eficiência e qualidade no processo construtivo.

A prototipagem rápida envolve o uso de tecnologias como impressão 3D e máquinas CNC para fabricar rapidamente modelos de componentes específicos, permitindo testes e ajustes iterativos antes da produção em larga escala. Hossain (2019) destaca que essa técnica acelera o desenvolvimento de produtos ao possibilitar a fabricação de protótipos funcionais em um curto espaço de tempo. Na construção civil, a prototipagem rápida permite a avaliação de novos materiais e métodos construtivos, promovendo a inovação e a melhoria contínua dos processos. Ainda, essa abordagem reduz o tempo de desenvolvimento e os custos associados, tornando-se uma ferramenta para a competitividade e eficiência no setor.

Como já apresentado neste estudo, o BIM tem revolucionado a prototipagem digital na construção civil, possibilitando a criação de modelos tridimensionais detalhados que integram informações multidisciplinares do projeto. Técnicas de prototipagem em BIM incluem a modelagem geométrica, análise de conflitos e simulações construtivas, que permitem prever e resolver problemas antes da fase de construção.

Ressalta-se que a antecipação de discussões é um dos principais benefícios proporcionados pela prototipagem, especialmente quando aplicada na fase digital. Através da utilização de protótipos digitais, é possível identificar e resolver problemas de projeto, execução e coordenação muito antes de se iniciar a construção real. Essa antecipação reduz a necessidade de intervenções corretivas durante a obra. A vantagem no prazo de execução se torna evidente, pois questões críticas são resolvidas em um ambiente controlado e virtual, onde a análise e a modificação são mais rápidas e menos dispendiosas do que em um protótipo físico ou durante a construção. Dessa forma, conforme discutido por Oliveira e Souza (2019), o uso de protótipos digitais vai além de otimizar o processo de tomada de decisão, haja vista que permite que o cronograma da obra seja cumprido com maior rigor, garantindo entregas dentro do prazo previsto.

Isto posto, o formato do protótipo virtual é influenciado pela complexidade e pelos objetivos do projeto. Ele pode variar desde modelos 3D detalhados até simulações mais avançadas que incorporam análises de desempenho energético, estrutural e de fluxo de trabalho. A condução do protótipo virtual envolve a integração de diversos softwares de modelagem e análise, como Revit, Navisworks e Dynamo, entre outros. A abordagem colaborativa é essencial, pois a participação simultânea de engenheiros, arquitetos e

outros profissionais é fundamental para validar diferentes aspectos do projeto. Essa metodologia contribui para a identificação de potenciais riscos e a otimização do processo construtivo, como apontam Reis et al. (2022), promovendo uma transição mais suave entre a fase de planejamento e a execução.

2.6 Tecnologias e ferramentas para prototipagem de sistemas hidráulicos

A prototipagem de sistemas hidráulicos na construção civil envolve o uso de diversas tecnologias e ferramentas que auxiliam no desenvolvimento e na análise dos sistemas. Dentre essas tecnologias, destacam-se as maquetes físicas, a modelagem 3D e as simulações computacionais, cada uma com suas vantagens e desvantagens (MATHEUS, 2023).

As maquetes físicas são uma ferramenta tradicional e amplamente utilizada na prototipagem de sistemas hidráulicos. Elas proporcionam uma representação tangível do sistema, permitindo uma avaliação visual e tátil de suas características. No entanto, as maquetes físicas podem ser trabalhosas de serem construídas, especialmente para sistemas complexos, e não oferecem a mesma flexibilidade de experimentação que as ferramentas digitais (SILVA 2018).

Conforme abordado por Caldonho (2023), a modelagem 3D é outra tecnologia de grande interesse para a prototipagem de sistemas hidráulicos. Ela permite a criação de modelos virtuais precisos e detalhados do sistema, facilitando a visualização e análise de diferentes cenários (MATHEUS, 2023). A vantagem da modelagem 3D está na sua capacidade de simular o funcionamento do sistema em um ambiente virtual, identificando potenciais problemas e otimizando o design antes da execução física (ARAÚJO NETO *et al.*, 2019).

Além disso, conforme destacado por Gomes (2023) as simulações computacionais são essenciais para a prototipagem de sistemas hidráulicos em edifícios multipavimentos. Elas permitem realizar análises detalhadas de fluxo, pressão, vazão e outras variáveis importantes do sistema, proporcionando contribuições importantes para a tomada de decisão. As simulações também contribuem para a identificação de soluções mais eficientes e sustentáveis, contribuindo para a otimização do sistema hidráulico como um todo (SILVA 2018).

A Figura 10 apresenta um modelo digital de sistemas hidráulicos em um edifício multipavimentos, evidenciando a aplicação de tecnologias e ferramentas avançadas para a prototipagem desses sistemas.

Figura 10 – Modelagem digital de sistema hidráulico em um edifício multipavimentos



Fonte: Extra Steel (2020)

Por meio da modelagem digital, é possível visualizar de forma detalhada a distribuição das tubulações, conexões e equipamentos hidráulicos, facilitando a análise e otimização do projeto. Essa representação tridimensional permite a identificação de possíveis interferências e conflitos entre diferentes elementos do sistema, contribuindo para um planejamento mais eficiente. Além disso, o modelo digital possibilita simulações de desempenho, como a análise de pressão e vazão, garantindo que o sistema hidráulico atenda aos requisitos de segurança e funcionalidade.

No contexto do estudo de caso e da otimização do sistema hidráulico em edifícios multipavimentos, a combinação dessas tecnologias e ferramentas pode ser extremamente eficaz. Por meio da utilização adequada de maquetes físicas, modelagem 3D e simulações computacionais, é possível criar protótipos robustos, analisar diferentes cenários, identificar melhorias e garantir a qualidade e eficiência do sistema hidráulico antes da execução física no canteiro de obras (ALCAIDE; WILTGEN, 2018).

A revisão teórica apresentada demonstra a importância da integração de protótipos no cronograma de obras, destacando técnicas como o BIM e o CFD, bem como a prototipagem digital e física, como ferramentas essenciais para otimização e eficiência na construção civil. Essas abordagens oferecem vantagens significativas, especialmente na antecipação de possíveis problemas e na melhoria do processo construtivo. Com base nessas premissas, o estudo de caso em foco, envolvendo uma construtora e sua experiência em um edifício residencial de múltiplos pavimentos em São Paulo, será analisado em detalhes. Este caso específico oferece a oportunidade de aplicar e avaliar as técnicas discutidas, fornecendo contribuições sobre os desafios enfrentados pela empresa, principalmente relacionados aos sistemas hidráulicos, e como a prototipagem pode ser uma solução viável para mitigar atrasos e custos adicionais na execução de obras.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Contextualização: apresentação da construtora

A construtora pesquisada possui uma história sólida e uma trajetória significativa no mercado da construção civil. Fundada há 4 décadas, a organização emergiu como uma promissora empresa de pequeno/médio porte no setor de edificações residenciais e comerciais na cidade de São Paulo.

Desde o início, a construtora adotou uma estratégia competitiva baseada na diferenciação, focando em empreendimentos residenciais de médio e alto padrão. A empresa ganhou destaque por sua capacidade de oferecer opções de plantas diversificadas, acabamentos sofisticados e serviços diferenciados aos condomínios, buscando constantemente criar valor agregado para seus clientes.

Atualmente, a construtora é liderada por dois sócios, sendo um deles o majoritário e proprietário da marca. Sua equipe de profissionais qualificados e sua reputação estabelecida no mercado consolidaram sua posição como uma construtora que se destaca pelo compromisso com a satisfação do cliente. Com uma visão voltada para a inovação e a melhoria contínua, a construtora está em busca de novas oportunidades e desafios, mantendo-se atenta às tendências do mercado e às necessidades dos seus clientes. Seguindo o modelo de negócios *Business-to-Consumer* (B2C), a empresa direciona seus esforços para atender às demandas e expectativas do consumidor final.

No momento, a construtora está envolvida na execução de dois empreendimentos em estágio avançado, encontrando-se em fase de conclusão e entrega, enquanto paralelamente realiza estudos de viabilidade para a aquisição de novos terrenos, como parte de sua estratégia de expansão e crescimento no mercado imobiliário.

3.2 Identificação do problema

A construtora, uma empresa com vasta experiência no mercado da construção civil, enfrenta desafios significativos no seu processo construtivo, particularmente em relação aos sistemas hidráulicos. No entanto, a empresa tem enfrentado obstáculos relacionados à eficiência e produtividade desses sistemas em uma obra específica,

resultando em atrasos na execução desta obra e, por conseguinte, gerando custos adicionais.

O projeto em questão trata-se de um edifício residencial de múltiplos pavimentos, localizado na cidade de São Paulo. Sua concepção arquitetônica apresenta uma combinação de apartamentos tipos (mesma dimensão e layout), bem como áreas comuns de lazer e serviços (ver Figura 13).

Figura 11 - Edifício Residencial de Múltiplos Pavimentos em São Paulo

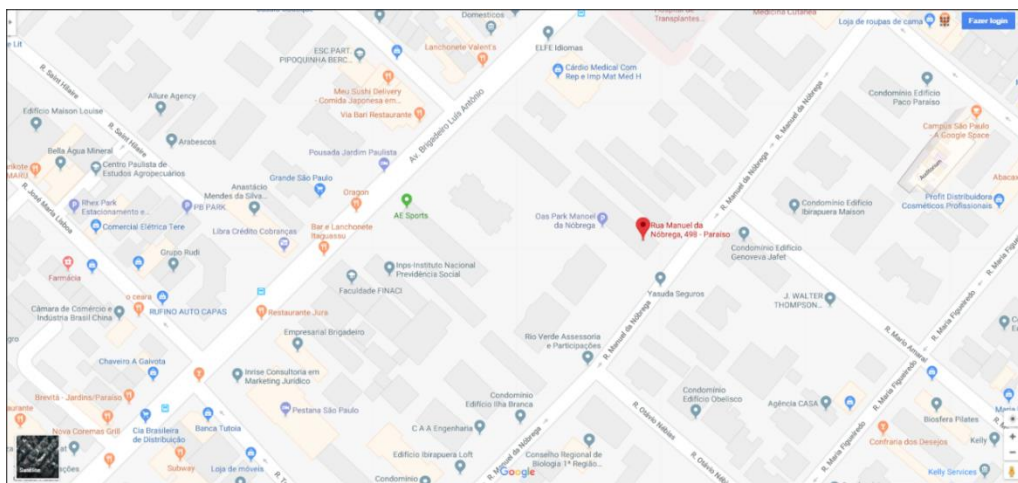


Fonte: Acervo pessoal

A Figura 11 evidencia a complexidade do empreendimento e a necessidade de um planejamento detalhado, especialmente no que concerne aos sistemas hidráulicos, um dos principais desafios enfrentados pela construtora. A visualização do edifício permite contextualizar os desafios técnicos e operacionais envolvidos.

A Figura 12 mostra a localização do edifício residencial objeto do estudo de caso, situado na cidade de São Paulo. O mapa detalhado destaca a posição estratégica do empreendimento em uma região urbana consolidada, o que traz uma série de desafios em termos de planejamento e logístico da obra, especialmente no que diz respeito à acessos existentes e às restrições normativas locais. Estes pontos são importantes para garantir o abastecimento da obra, sem comprometer a produção.

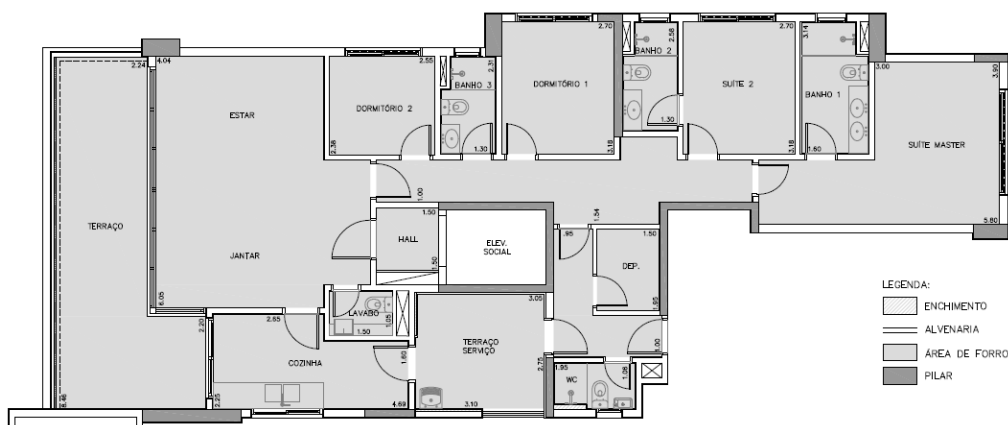
Figura 12- Localização do Edifício Residencial em São Paulo



Fonte: Acervo pessoal - google maps

A Figura 13 apresenta a planta baixa do apartamento tipo do edifício residencial em questão. Este layout detalha a distribuição dos espaços internos, incluindo áreas comuns, dormitórios, banheiros, e áreas de serviço, evidenciando a complexidade do sistema hidráulico que deve ser integrado ao projeto.

Figura 13 - Planta Baixa do Apartamento Tipo



Fonte: acervo pessoal

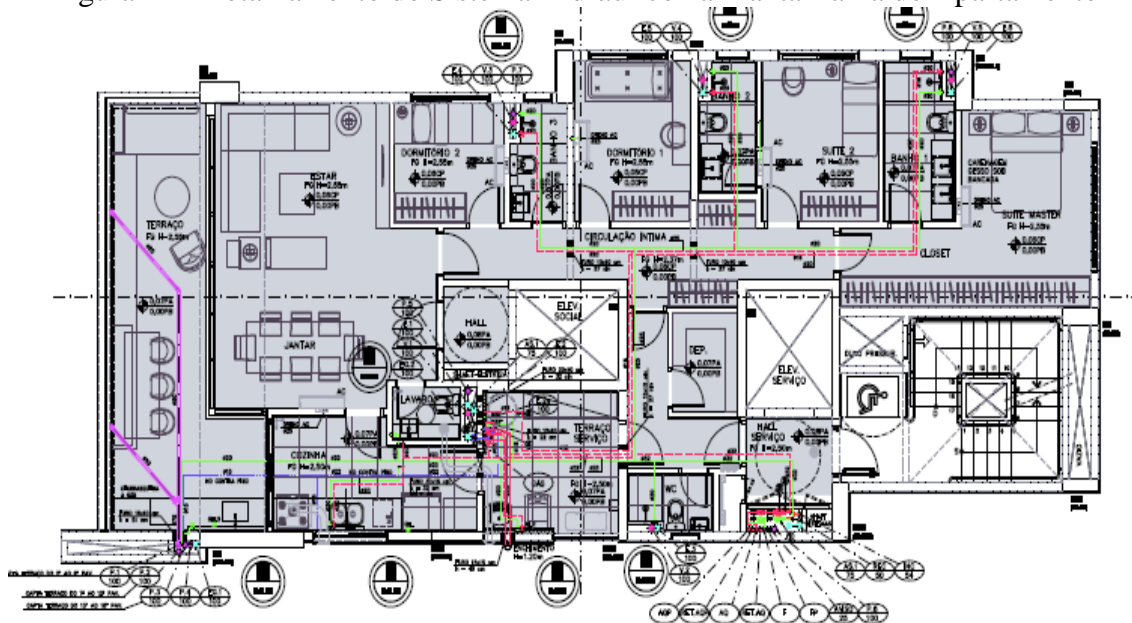
A análise desta planta é essencial para compreender a necessidade de prototipagem dos sistemas hidráulicos, pois possibilita a identificação de pontos críticos, como locais de passagem de tubulações, áreas de risco de interferência e demandas específicas de cada ambiente.

Durante as etapas iniciais do projeto, surgiram desafios significativos relacionados aos sistemas hidráulicos, que foram identificados pelo autor desta monografia atuante como engenheiro residente do respectivo empreendimento,

juntamente com sua equipe de engenharia, entendendo que seria uma oportunidade de melhoria, que poderia otimizar diretamente a eficiência e qualidade da construção.

A Figura 14 apresenta o detalhamento do sistema hidráulico na planta baixa do apartamento tipo. Esta representação inclui a disposição das tubulações, pontos de abastecimento, escoamento e demais componentes hidráulicos. A visualização do sistema permite identificar potenciais conflitos e interferências, facilitando a tomada de decisões em fases prévias à execução.

Figura 14 - Detalhamento do Sistema Hidráulico na Planta Baixa do Apartamento



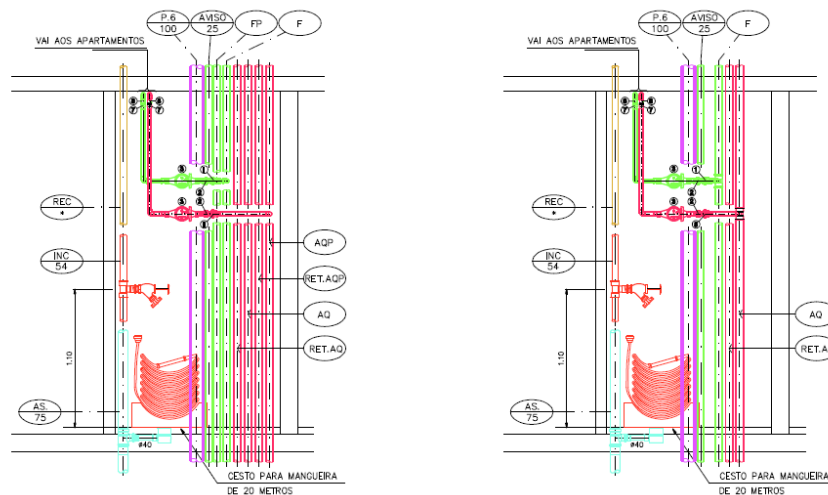
Fonte: acervo pessoal

A relação entre os sistemas prediais e o uso de protótipos é particularmente evidente no contexto das instalações hidráulicas, pois esses sistemas exigem precisão tanto no planejamento quanto na execução para evitar conflitos e retrabalhos. O protótipo atua para integrar e validar o detalhamento do sistema hidráulico, permitindo a simulação dos sistemas prediais em escala real ou reduzida. Essa abordagem possibilita uma análise prática das interações entre os componentes das tubulações horizontais e verticais, além de identificar possíveis interferências e testar soluções alternativas. Dessa forma, o protótipo facilita a visualização e o ajuste das instalações e contribui para a implementação de processos construtivos mais eficientes e assertivos.

A Figura 15 ilustra o detalhamento vertical do sistema de tubulações, indicando como as diversas instalações hidráulicas são distribuídas ao longo dos pavimentos do edifício. O detalhamento vertical mostra claramente os caminhos das tubulações de água

fria, água quente, esgoto e outros sistemas integrados, destacando pontos críticos, como colunas hidráulicas e locais de interseção. A análise deste detalhamento permite prever problemas de instalação, facilitando ajustes no projeto e contribuindo para a redução de retrabalhos durante a execução da obra.

Figura 15 - Detalhamento Vertical do Sistema de Tubulações



Fonte: acervo pessoal

Em particular, o sistema hidráulico desta obra demandou uma atenção especial, especialmente no shaft localizado no hall de serviço. Inicialmente projetado para se ter tubulações de PVC, foi identificada a oportunidade de substituição por mangueiras PEX (polietileno reticulado). Esta alternativa em PEX permitiria uma abordagem conhecida como ponta a ponta, diminuindo significativamente a quantidade de ligações e interfaces com a mão de obra, com salto de produtividade na execução da obra. Essa decisão reverberou por toda a distribuição de água, desde o registro de abastecimento do apartamento, representando uma mudança fundamental no projeto original. Além disso, o Sistema de *manifold* no banheiro de serviço foi outro ponto de importância, envolvendo a instalação de kits e mangueiras. Essas adaptações, embora essenciais, adicionaram complexidade ao projeto e exigiram ajustes frequentes nos projetos hidráulicos, resultando em desafios adicionais de coordenação e integração.

Visando mitigar tais problemas identificados no canteiro de obras, foi proposto a criação de um protótipo de forma a otimizar o processo construtivo da construtora, e em específico neste projeto. Este protótipo representa uma abordagem para lidar com os desafios enfrentados, ao permitir a simulação e validação prévia das soluções hidráulicas propostas antes da implementação no canteiro de obras.

Ao adotar uma abordagem baseada em protótipos, a construtora terá possibilidade de discutir as soluções abordadas, na busca de redução de custos e prazos associados as atividades hidráulicas, além de abordar melhorias na qualidade e confiabilidade das instalações finais.

Compreende-se que a decisão de realizar protótipos nesta obra específica foi uma ação pontual, resultante da iniciativa da equipe de gerenciamento da obra e do apoio da diretoria da empresa. Até o momento, a empresa não possui uma diretriz ou procedimento padrão estabelecido para a realização de protótipos em seus projetos. A implementação dessa abordagem neste caso específico ocorreu devido aos desafios enfrentados com os sistemas hidráulicos e à necessidade de encontrar soluções inovadoras para otimizar o processo construtivo. A equipe de gerência da obra, apresentou a proposta à diretoria, destacando os benefícios potenciais em termos de eficiência, qualidade e confiabilidade das instalações, o que levou à aprovação da iniciativa. Essa decisão reflete um passo importante da construtora em direção à melhoria contínua de seus processos.

Neste sentido, a oportunidade de implementar protótipos nesta obra residiu na necessidade de superar os desafios específicos encontrados nos sistemas hidráulicos. Ao enfrentar dificuldades, como por exemplo, no que diz respeito à complexidade do *shaft* no hall de serviço e à necessidade de adaptações no sistema de *manifold* no banheiro de serviço, surgiu a oportunidade de utilizar protótipos como uma ferramenta estratégica para otimizar o processo construtivo.

3.3 Desenvolvimento do protótipo

A criação e desenvolvimento do protótipo representam um passo fundamental no processo de validação do projeto, entre outros benefícios. Essa fase foi marcada por uma estreita colaboração entre a construtora e o empreiteiro de instalações, cujo conhecimento especializado e experiência prática são essenciais para o sucesso do projeto. Cabe destacar também o papel do projetista, que representou papel importante retroalimentando sua base de dados.

A parceria entre a construtora e o empreiteiro de instalações é pautada pela troca de conhecimentos e pela identificação conjunta de oportunidades de melhoria nos sistemas hidráulicos do empreendimento, visando otimizar processos, custos extras, produtividade (o que interessa muito a instaladora). Com isso, ambas as partes contribuem

com sua expertise, compartilhando ideias para aperfeiçoar o projeto e garantir sua viabilidade técnica e econômica.

Cabe ressaltar que, na prática da construtora em questão, a realização de protótipos na própria obra como a primeira atividade de cada serviço não é comum. No entanto, para este projeto específico, uma abordagem diferente foi adotada. Diante dos desafios específicos enfrentados pelos sistemas hidráulicos e com o objetivo de otimizar o processo construtivo, a equipe optou por antecipar a criação do protótipo fora do ambiente da obra. Essa decisão foi motivada pela necessidade de uma investigação mais aprofundada e por um planejamento detalhado das soluções a serem implementadas. Ao antecipar o desenvolvimento do protótipo, foi possível analisar as potenciais melhorias nos sistemas hidráulicos e implementar ajustes de forma mais controlada e eficiente. Embora essa abordagem tenha diferido das práticas usuais da empresa, a execução do protótipo fora da obra foi considerada a mais adequada para atender às características e exigências deste projeto específico.

A proposta de realizar o protótipo foi apresentada e discutida em reuniões estratégicas que envolveram engenheiros civis, arquitetos, especialistas em sistemas hidráulicos, e representantes da diretoria, além de membros atuantes no canteiro de obras. A participação direta do autor desta monografia, baseada na experiência prática adquirida no campo, contribuiu para organizar e direcionar o processo de desenvolvimento do protótipo. Após uma análise dos potenciais benefícios e desafios envolvidos, foi determinado que a criação do protótipo fora do canteiro de obras ofereceria vantagens, permitindo uma investigação detalhada dos sistemas hidráulicos e a implementação de modificações necessárias de forma mais eficiente, controlada e antecipada.

O desenvolvimento do protótipo proporcionou uma série de vantagens para a otimização dos sistemas hidráulicos no empreendimento. Como o objetivo de alteração do projeto era de grandes proporções, o início da prototipagem foi realizado com devida antecipação. Essa abordagem facilitou a identificação de falhas e ajustes necessários de forma mais controlada e eficiente, evitando retrabalhos e desperdícios durante a execução efetiva da construção. Com isso, a construtora pôde garantir maior precisão e qualidade nos sistemas hidráulicos, assegurando que o projeto fosse executado dentro dos prazos estabelecidos e com menor risco de problemas futuros.

Ainda por influência do protótipo, houve contribuição para a inovação e sustentabilidade do projeto, destacando-se como um diferencial competitivo para a construtora. A utilização de materiais mais eficientes, como as mangueiras de PEX, e a

adoção de sistemas pré-fabricados resultaram em uma instalação hidráulica mais rápida e menos suscetível a erros, promovendo uma economia de tempo e recursos.

O processo de montagem do protótipo em escala real foi planejado e executado por vinte pessoas, envolvendo uma série de etapas coordenadas. Inicialmente, foram realizados estudos detalhados do projeto hidráulico, identificando áreas de possíveis melhorias.

A montagem do protótipo em escala real, foi uma opção a ser realizada dentro do galpão de propriedade do empreiteiro de instalações, devido ao espaço físico e a disponibilidade de materiais. O layout do apto foi seguido fielmente, porém com a utilização de vedações em *drywall*, o que permitiu velocidade na execução do mesmo. Durante esse processo, foram realizados testes e simulações para avaliar o desempenho e a funcionalidade das novas soluções propostas, garantindo sua eficácia e adequação às necessidades do empreendimento.

Durante o processo de avaliação do sistema hidráulico, foi aplicada, também, a escala Likert para quantificar os resultados obtidos. Foi configurada a escala com uma pontuação de 1 a 5, sendo que o valor 5 indica a ausência de falhas ou o desempenho ideal do sistema, enquanto valores menores indicam a presença de falhas ou áreas que requerem atenção adicional. Essa configuração permitiu avaliar de forma mais precisa o desempenho do sistema hidráulico em diferentes aspectos e identificar quais áreas podem necessitar de ajustes ou melhorias para garantir sua eficácia e confiabilidade.

Os dados apresentados na Tabela 2 foram coletados por meio de um questionário aplicado aos membros da equipe de gerenciamento da obra e aos técnicos responsáveis pela montagem e testes do sistema hidráulico do protótipo. Esses profissionais, com base em suas observações e na realização dos testes, avaliaram cada aspecto do sistema. Os resultados iniciais revelaram um desempenho satisfatório em geral, mas apontaram aspectos que merecem atenção, indicando oportunidades para ajustes e melhorias.

Tabela 2 – Checklist para testes e simulações iniciais

Testes de simulações	Descrição	Resultado inicial	Resultado Escala Likert (1 a 5)
Teste de pressão	Aplicação de pressão hidráulica nas tubulações para verificar vazamentos ou falhas.	Nenhuma falha detectada inicialmente	5
Teste de fluxo	Avaliação do fluxo de água através das tubulações e conexões	Fluxo uniforme e sem obstruções	4
Teste de funcionalidade dos <i>Manifolds</i>	Verificação da eficácia dos <i>manifolds</i> na distribuição de água	<i>Manifolds</i> operando corretamente, permitindo o controle individual dos pontos hidráulicos	3
Teste de Resistência	Simulação de situações de sobrecarga ou condições adversas	Tubulações e conexões demonstram resistência adequada	4
Teste de Acessibilidade	Avaliação da acessibilidade para manutenção e reparos futuros	Acesso fácil aos pontos hidráulicos, facilitando manutenção.	4

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Observa-se que embora as descrições iniciais não tenham apontado falhas significativas, a análise por meio da escala Likert (índice de aprovação através de media pesquisada), destacou áreas que podem requerer ajustes ou melhorias para garantir o desempenho ideal do sistema hidráulico. Essa abordagem permite a identificação precoce de possíveis problemas e a implementação de medidas corretivas necessárias para otimizar o sistema.

Apesar de o resultado inicial do checklist não apontar para potenciais modificações no projeto hidráulico, outras alterações foram implementadas no protótipo de forma iterativa, permitindo ajustes e refinamentos conforme necessário. O objetivo era alcançar um equilíbrio entre eficiência, custo e qualidade, maximizando os benefícios do protótipo para o processo construtivo como um todo.

O projeto hidráulico inicialmente adotou uma abordagem convencional ao especificar todas as tubulações em policloreto de vinila (PVC) e polipropileno copolímero randomizado (PPR), independentemente de sua função no sistema, seja para recalque, alimentação de água fria ou quente, ou para pontos específicos como chuveiros, bacias e lavatórios. Essa escolha, embora comum na prática da construção civil, revelou-se limitadora em termos de eficiência e produtividade executiva.

Essa escolha era alinhada com práticas tradicionais na construção civil e visava simplicidade no fornecimento de materiais e execução. No entanto, à medida que os desafios da instalação foram analisados mais detalhadamente, especialmente com o desenvolvimento do protótipo, evidenciaram-se limitações significativas dessa abordagem em termos de eficiência, produtividade e flexibilidade.

O protótipo permitiu que as soluções inicialmente projetadas fossem analisadas em um ambiente controlado. Durante os testes e simulações realizadas no protótipo em escala real, tornou-se evidente que o uso de sistemas de PVC e PPR apresentava gargalos técnicos e operacionais, como maior número de conexões, aumento do tempo de instalação e maior suscetibilidade a erros durante a execução. Esses fatores indicaram a necessidade de repensar a estratégia adotada para otimizar o sistema hidráulico.

Após a análise mais aprofundada, feita pelo autor desta monografia, que era o atuante como engenheiro residente do respectivo empreendimento, juntamente com sua equipe de engenharia, ficou evidente a necessidade de reavaliar todos os pontos hidráulicos relacionados à alimentação e distribuição de água quente e fria.

Nesse contexto, surgiu a proposta de substituir as tubulações de PVC e PPR pelo sistema de tubulação PEX, visando aprimorar a eficiência operacional e mitigar os desafios identificados no projeto inicial. Essa reavaliação reflete a busca por soluções mais adequadas às demandas específicas do empreendimento, considerando tanto aspectos técnicos quanto econômicos, e representa um passo fundamental na otimização do sistema hidráulico da construção.

Um ponto importante também a ser considerado, é que o empreiteiro de instalações, pela vasta experiência neste ramo, aponta que obras que utilizam sistemas em kit hidráulicos e PEX, é em torno de 30% mais econômica, devido à redução de mão de obra envolvida, quando se é relacionada com obras no sistema convencional (sem os kits hidráulicos).

3.4 Descrição das modificações

O início das instalações ocorreu no *shaft* localizado no hall de serviço, em que foram introduzidas propostas de alteração para otimizar o sistema hidráulico. A seguir, apresenta-se uma breve descrição dessas modificações (ver Figura 16).

Figura 16 – Hall de serviço



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A partir do *shaft* de serviço, foi implementada uma modificação significativa no sistema hidráulico, caracterizada pela substituição das tubulações de PVC por mangueiras de PEX (polietileno reticulado). Essa alteração abrangeu toda a distribuição de água, desde o registro de abastecimento do apartamento, representando uma mudança fundamental no projeto original.

Para evidenciar as vantagens do uso de mangueiras PEX em relação às tubulações de PVC, destaca-se que o PEX oferece benefícios significativos em termos de flexibilidade, durabilidade e eficiência. Diferentemente do PVC, que é um material rígido e exige mais conexões em curvas e desvios, o PEX apresenta alta flexibilidade, permitindo instalações mais diretas e reduzindo a necessidade de conexões adicionais. Além disso, o PEX se sobressai pela durabilidade, apresentando maior resistência à corrosão, à formação de incrustações e às variações térmicas, o que assegura um desempenho hidráulico mais confiável e consistente ao longo do tempo.

Embora o PVC seja uma opção de menor custo inicial, o PEX compensa essa diferença ao oferecer economia significativa em mão de obra, devido à sua instalação mais simples e rápida, especialmente em sistemas pré-fabricados. No aspecto ambiental, o PEX também se destaca como uma alternativa mais sustentável, sendo reciclável e apresentando menor impacto ao longo de seu ciclo de vida. Essas características fazem

do PEX uma solução moderna e estratégica, alinhada às necessidades de produtividade e qualidade na construção civil.

A adoção de mangueiras de PEX permitiu eliminar a necessidade de quebra de alvenaria para a passagem das tubulações, bem como reduziu os custos associados ao chumbamento dessas tubulações e à instalação de inúmeras conexões para cada ponto hidráulico. Além disso, as mangueiras de PEX, pré-fabricadas e equipadas com todos os pontos de instalação necessários, resultaram em uma significativa economia de mão de obra durante a fase de instalação. Essa medida não apenas indicava a melhoria na eficiência e a produtividade da obra, mas também demonstrava um compromisso com a inovação e a busca por soluções mais eficazes e econômicas no contexto da construção civil.

As mangueiras PEX têm se destacado como uma alternativa viável e eficiente para as instalações prediais, apresentando diversas vantagens em relação aos materiais tradicionais, como o PVC. Um estudo realizado por Santos (2022) intitulado "Análise comparativa entre instalações prediais de água fria com utilização de PEX e PVC - estudos de caso: condomínios Praia de Ponta Negra e Praia de Pipa em Natal/RN" evidencia essa tendência. As mangueiras PEX oferecem maior flexibilidade, resistência à corrosão, facilidade de instalação e durabilidade, contribuindo para a redução dos custos e dos prazos de execução das obras. Além disso, sua capacidade de se adaptar a diferentes condições de instalação e sua baixa tendência à formação de incrustações garantem um desempenho superior ao longo do tempo (SANTOS, 2022).

Foi criado também dentro do banheiro de serviço um sistema de *manifold*, trazendo para este ambiente boa parte do conjunto de registros do apartamento, onde qualquer ponto hidráulico poderia ser fechado ou aberto apenas neste ambiente, com isso foi possível reduzir 60% dos registros que iriam ser instalados nos aptos, o que já representava uma economia expressiva na compra de acabamentos hidráulicos para o empreendimento (ver Figura 17).

Figura 17 – Conjunto de *manifolds* no banheiro de serviço

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A criação de kits, também foi um ponto importante para otimizar a produtividade das atividades. O que estaria tudo feito em PVC rígido, gerando excesso de conexões, intervenções em alvenaria, chumbamento das tubulações, tudo foi otimizado com os kits e mangueiras para suas conexões (ver Figura18).

Figura 18 – Kits e mangueiras para as conexões



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os kits consistem em mangueiras e conexões pré-montadas, projetadas com precisão para se encaixarem perfeitamente e atenderem às necessidades específicas de cada ponto de acesso. Essa padronização simplificou consideravelmente o processo de instalação, eliminando a necessidade de cortar e unir tubos, em comparação ao projeto inicial.

3.5 Viabilidade do protótipo atrelado ao cronograma de execução da obra

A viabilidade do protótipo atrelado ao cronograma de execução da obra é um aspecto crucial a ser considerado no planejamento e na implementação de projetos na construção civil. De fato, a complexidade inerente a esse setor exige uma abordagem integrada, na qual diversas áreas e disciplinas devem ser coordenadas de forma sincrônica.

O planejamento eficaz não apenas antecipa e previne contratempos, mas também contribui significativamente para a mitigação de riscos e a maximização da eficiência operacional. Quando o planejamento é inadequado ou negligenciado, as consequências podem ser adversas, incluindo aumento dos custos da obra, desperdício de recursos, descumprimento de prazos, desafios de conformidade com regulamentações e leis, além de um aumento potencial no número de acidentes (SILVA, 2020).

A antecipação de 70 dias na realização do protótipo em relação ao cronograma de execução da obra foi um elemento fundamental para garantir a viabilidade e o sucesso do projeto. Essa antecipação proporcionou um período adicional para o desenvolvimento, teste. Essa margem de tempo adicional ofereceu flexibilidade para lidar com eventuais contratempos ou ajustes que surgissem durante o processo de prototipagem.

Ao desenvolver o protótipo em paralelo com o cronograma da obra, a equipe executora, composta por projetistas, gerente de obra, gerente de projetos e a diretoria da empresa, teve a oportunidade de identificar potenciais problemas ou obstáculos antes mesmos do início da construção efetiva, evitando atrasos e custos adicionais associados a retrabalhos ou modificações de última hora.

A pontualidade na apresentação do protótipo foi de suma importância para o sucesso do projeto, pois afetava diretamente o andamento e a eficiência da obra. Quando o protótipo é concluído dentro do prazo estabelecido, permite que as soluções propostas sejam devidamente testadas e validadas antes do início efetivo da construção. Isso garante que quaisquer ajustes ou modificações necessárias possam ser implementados a tempo, minimizando a ocorrência de retrabalhos e atrasos durante a execução da obra. A seguir, na Tabela 3, é apresentado o cronograma do protótipo.

Tabela 3 – Cronograma de implementação do protótipo

Atividade	Duração estimada (dias)	Data de Início prevista	Data de Conclusão prevista
Planejamento e preparação do projeto	20	02/01/2022	21/01/2022
Desenvolvimento do protótipo	60	22/01/2022	22/03/2022
Testes e refinamentos do protótipo	30	23/03/2022	21/04/2022
Apresentação do protótipo para aprovação	5	22/04/2022	27/04/2022
Implementação das modificações	10	28/04/2022	09/05/2022
Início efetivo da Construção	-	01/07/2022	-

Fonte: Resultados da pesquisa (2022)

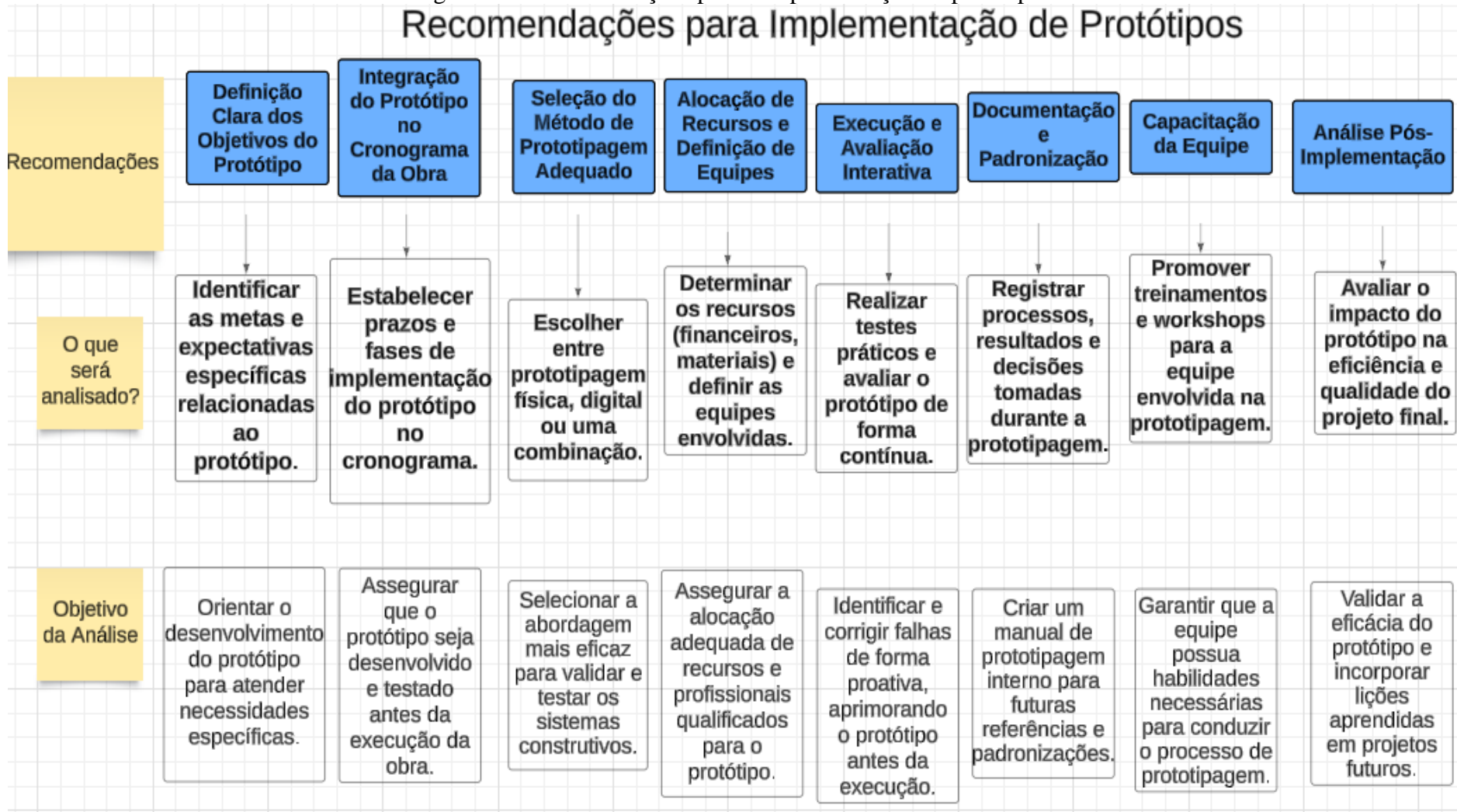
Este projeto, abordou importantes considerações na tomada de decisão para a execução de protótipos, para a construtora. Isso contribuiu bastante para construtora. Com base nos apontamentos obtidos com este protótipo, a construtora observou que é importante padronizar os processos construtivos, adotando a realização de protótipos para as diversas etapas da construção, sempre vinculando o protótipo ao cronograma do empreendimento. A construtora entendeu que padronizar cada etapa a ser executada, a execução de um modelo, o processo construtivo pode ser otimizado, para cada empreendimento. Compreende-se, portanto, que não apenas na questão econômica, mas na questão da produtividade, otimização e sustentabilidade do projeto, o protótipo pode contribuir grandemente ao processo. A vista disso, no tópico a seguir, tem-se a elaboração de recomendações para a implementação de protótipos em projetos de edifícios residenciais multipavimento.

3.6 Elaboração de Recomendações para a Implementação de Protótipos

Com base na experiência adquirida com a aplicação da prototipagem no projeto em estudo, foram desenvolvidas recomendações para orientar sua implementação em futuras obras. Essas diretrizes buscam integrar a prototipagem de forma eficiente no cronograma, minimizando riscos, aumentando a eficiência operacional e assegurando a

qualidade das instalações. A seguir, são apresentadas as principais recomendações para a prototipagem em edifícios residenciais multipavimentos (Ver Figura 19).

Figura 19 - Recomendações para a implementação de protótipos



Fonte: elaborada pelo autor (2024)

Conforme ilustrado na Figura 19, as recomendações para a implementação de protótipos são organizadas em três níveis estruturados: a recomendação em si, o que deve ser analisado e o objetivo da análise. Essa estruturação permite uma compreensão prática das diretrizes, viabilizando sua aplicação no contexto da construção civil. Cada recomendação, como a definição clara dos objetivos do protótipo e a integração no cronograma da obra, está vinculada a elementos específicos a serem analisados, como a identificação de metas, expectativas e prazos, e é direcionada a objetivos que buscam orientar o desenvolvimento, garantindo testes prévios e mitigando riscos antes da execução da obra.

A definição dos objetivos do protótipo surge como o ponto de partida fundamental, uma vez que direciona todo o processo. Essa etapa envolve identificar problemas específicos, como conflitos em sistemas hidráulicos, e definir metas claras, como validar a eficiência de sistemas PEX em substituição ao PVC. Seguindo essa lógica, a integração do protótipo no cronograma da obra assegura que a prototipagem seja tratada como uma etapa estratégica do planejamento, sendo executada antecipadamente para validar soluções críticas que influenciam as etapas subsequentes.

A seleção do método de prototipagem adequado é outra recomendação de destaque, pois demanda a escolha entre abordagens físicas, digitais ou híbridas. Por exemplo, a utilização de modelagem BIM para simulações iniciais combinada à prototipagem física para testes práticos em escala real. Essa etapa permite que as soluções sejam analisadas sob múltiplas perspectivas, mitigando falhas que poderiam impactar negativamente o cronograma e os custos da obra.

Para garantir o sucesso da prototipagem, a alocação de recursos e a definição de equipes são indispensáveis. Essa etapa exige planejamento detalhado para determinar materiais, orçamento e profissionais necessários. No caso de um protótipo hidráulico, isso pode incluir a aquisição de tubulações de PEX, kits de manifolds e a mobilização de técnicos especializados e engenheiros para supervisionar o processo. A execução do protótipo, por sua vez, deve ser acompanhada de uma avaliação iterativa contínua, onde testes práticos, como pressurização e avaliação do fluxo hidráulico, identificam ajustes necessários, promovendo melhorias antes da implementação final.

Outro aspecto importante é a documentação e padronização, que consiste em registrar processos, resultados e decisões tomadas durante a prototipagem. Isso não apenas facilita a aplicação de boas práticas em futuras obras, mas também promove a consolidação de um padrão técnico dentro da empresa. Adicionalmente, a capacitação da

equipe é uma recomendação essencial, garantindo que todos os envolvidos possuam as competências necessárias para lidar com as tecnologias e métodos implementados. Por exemplo, workshops e treinamentos práticos sobre o manuseio de PEX são fundamentais para assegurar a replicabilidade dos processos validados.

Por fim, a análise pós-implementação complementa o ciclo, avaliando o impacto do protótipo na eficiência e qualidade do projeto final. Essa etapa oferece um feedback crítico sobre o desempenho das soluções aplicadas, possibilitando ajustes para aprimorar projetos futuros. Comparações de custo-benefício, produtividade e qualidade tornam-se ferramentas valiosas para justificar o uso de protótipos como prática recorrente. Ao integrar essas recomendações, este estudo propõe um framework prático que sistematiza a implementação de protótipos, bem como contribui para a melhoria contínua dos processos na construção civil.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de protótipos no processo construtivo de uma construtora de médio porte, com foco na otimização dos sistemas hidráulicos, revelou-se como uma estratégia eficaz para alcançar múltiplos benefícios. Ao longo deste estudo, foram investigados os impactos dessa implementação com o objetivo de aprimorar a eficiência operacional, reduzir custos e melhorar a qualidade das instalações finais em edifícios multipavimentos.

Os resultados obtidos ao longo da pesquisa demonstram que a adoção de protótipos apresenta um potencial significativo para transformar positivamente o processo construtivo. A eficiência operacional foi aprimorada, permitindo uma execução mais ágil e precisa das atividades relacionadas aos sistemas hidráulicos. A apresentação do protótipo para aprovação ocorreu em 22 de abril de 2022, enquanto o início efetivo da construção estava programado para o dia 01 de julho de 2022. Conforme citado anteriormente, essa antecipação permitiu que houvesse um tempo considerável para realizar testes, refinamentos e implementação de modificações antes do início efetivo da construção, contribuindo para a eficiência e sucesso do projeto.

Por outro lado, o atraso na apresentação do protótipo pode ter impactos negativos significativos, especialmente quando ocorre durante a fase de execução da obra. Quando o protótipo não está pronto a tempo, a construção pode ser forçada a prosseguir com os planos originais, sem os benefícios das melhorias propostas. Isso pode resultar em problemas de integração entre as novas soluções e os trabalhos em andamento, levando a interrupções, custos adicionais e potencial comprometimento da qualidade final do empreendimento. Além disso, se o protótipo não estiver disponível para ser utilizado antes da execução da obra, isso pode afetar negativamente a imagem da empresa e sua capacidade de comercializar o empreendimento. Portanto, a adesão estrita aos prazos estabelecidos para a entrega do protótipo é essencial para garantir o sucesso global do projeto.

Diante disso, foram elaboradas recomendações para a implementação de protótipos, sendo que cada uma delas, como a definição clara dos objetivos do protótipo e sua integração ao cronograma da obra, é acompanhada por aspectos a serem considerados, como a identificação de metas e a definição de prazos. Além disso, também são indicados os objetivos a serem alcançados, como orientar o desenvolvimento e assegurar a realização de testes antes do início da execução da obra.

A utilização de protótipos possibilitou uma análise mais detalhada e precisa dos sistemas hidráulicos, identificando potenciais falhas e oportunidades de otimização antes mesmo da execução efetiva no canteiro de obras. Isso contribuiu significativamente para a entrega de edifícios multipavimentos com padrões elevados de qualidade e desempenho.

No entanto, é importante ressaltar que algumas limitações foram identificadas ao longo da pesquisa. Questões relacionadas à integração dos protótipos com outros sistemas construtivos e a necessidade de capacitação das equipes para lidar com novas tecnologias foram apontadas como desafios a serem superados. Essas limitações destacam a importância de um planejamento estratégico e de investimentos em treinamento e desenvolvimento para maximizar os benefícios da implementação de protótipos.

Diante do exposto, recomenda-se que a construtora considere a continuidade e a expansão dessa abordagem em seus futuros projetos. A análise dos impactos positivos, aliada à identificação das limitações e oportunidades de melhoria, fornece uma base de conhecimento para aprimorar ainda mais o processo construtivo e alcançar resultados cada vez mais satisfatórios em termos de eficiência, custos e qualidade das instalações finais. Investir em pesquisa e desenvolvimento, promover a colaboração entre equipes multidisciplinares e adotar uma abordagem iterativa são estratégias-chave para maximizar o potencial dos protótipos na construção civil.

Para futuros trabalhos, sugere-se a realização de estudos mais aprofundados sobre os impactos da implementação de protótipos em diferentes aspectos do processo construtivo, além dos sistemas hidráulicos, como a análise de sistemas elétricos, estruturais e de climatização. Além disso, investigações sobre a aplicabilidade de diferentes tipos de prototipagem, como protótipos virtuais e protótipos físicos em larga escala, podem fornecer contribuições sobre suas eficácias e limitações em contextos específicos da construção civil. Estudos comparativos entre empresas que adotam e não adotam protótipos também podem ser conduzidos para avaliar o impacto dessa prática na competitividade e no desempenho geral das construtoras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCAIDE, Eduard; WILTGEN, Filipe. **Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro.** 2018. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/2757>. Acessado em 16 de abr, 2024

ARAÚJO NETO, Marcondes Martins de *et al.* **Uso de Impressora 3D na Construção Civil.** 2019. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/handle/aee/1713>. Acessado em 16 de abr. 2024

ARCHDAILY. **Construção em miniatura: maquetes da estrutura aos acabamentos.** ArchDaily, 1 out. Eduardo Souza. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/948712/maquetes-levadas-ao-limite-processos-construtivos-da-estrutura-aos-acabamentos/>. Acesso em: 17 set. 2024.

AUTODESK. **AutoCAD: Software CAD.** Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/autocad/>. Acesso em: 17 set. 2024.

BARR, Jason. A ‘Radical Departure’? How The Home Insurance Building Won the ‘First Skyscraper Debate’. **International Journal of High-Rise Buildings**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2024.

CALDONHO, Gabriel Correa. **Metodologia ativa aplicada ao ensino de engenharia utilizando modelos produzidos a partir da impressão 3D.** 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3576>. Acessado em 16 de abr. 2024

CAMINHA, Tom Ferreira et al. **A prototipagem física de alta fidelidade: uma abordagem de design para projetos na construção civil.** UERJ. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <https://www.bdt.d.uerj.br:8443/handle/1/16364>. Acessado em 15 de abr. 2024

COSTA, Sara Mariany; COSTA, Maristelio. **Vantagens da substituição do Autocad pelo Revit na elaboração de projetos arquitetônicos.** 2024.

DARIVA, Matheus Alves, *et al.* **Modelagem de Informação, concepção e compatibilização de projetos de sistemas hidráulicos prediais utilizando tecnologia BIM.** Universidade Federal de Uberlândia. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23854>. Acessado em 11 mar. 2024

EXTRA STEEL. **Projeto hidrossanitário - Edifício multifamiliar.** Modelo 3D. 2020. Disponível em: <https://sketchfab.com/3d-models/projeto-hidrossanitario-edificio-multifamiliar-508ee057afd84fed8c9472eae7963a93>. Acesso em: 18 set. 2024.

FERREIRA, Wellington Augusto et al. BIM modelagem de informação na construção civil. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 21, p. 21-21, 2022.

GEHRING, Luiz Waldemar Mattos. **Matéria Técnica – A importância do Método BIM – Modelagem de Informações da Construção.** Associação de Engenheiros e Arquitetos de São José dos Campos, 15 jan. 2022. Disponível em: <https://aeasjc.org.br/2022/01/15/a-importancia-metodo-bim/>. Acesso em: 17 set. 2024.

GOMES, Ana Carolina Santana. **Os desafios da implementação das técnicas 3D na construção civil no Brasil**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/2857>. Acessado em 16 de abr. 2024

LACOPO, Amanda Faria, et al. Sistema hidráulico em obras de edificações de parede de concreto: a utilização do pex na construção civil. **Epitaya E-books**, 2023, vol. 1, no 32, p. 64-79.

MATHEUS, Tiago Rosales. **Construção e validação de um sistema hidráulico para estudo de perdas de carga distribuídas e localizadas**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18643>. Acessado em 15 de abr. 2024

MELO, Aluísio Braz *et al.* **Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA**. **Ambiente Construído**, v. 9, p. 141-155, 2021. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/9471>. Acessado em 15 de abr. 2024

MENEZES, Acksom Matheus Silva *et al.* **Protótipo de sistema automatizado para monitoramento e controle do consumo de eletricidade e água em instalações prediais**. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336617802_Prototipo_de_sistema_automatizado_para_monitoramento_e_controle_do_consumo_de_eletricidade_e_agua_em_instalacoes_prediais. Acessado em 14 de abr. 2024

MONTEIRO, Nathalie Barbosa Reis. **Gestão do Ciclo de Vida: bases para a aplicação da economia circular em indústrias de concreto da construção civil**. 2022. UFPI. Universidade Federal do Piauí. Disponível em: <http://repositorio.ufpi.br:8080/xmlui/handle/123456789/2889?show=full>. Acesso em 15 set. 2024.

MUNDOGEO. **Pesquisa aponta que setor de construção civil está pronto para a transformação digital**. 18 maio 2020. Disponível em: <https://mundogeo.com/2020/05/18/pesquisa-aponta-que-setor-de-construcao-civil-esta-pronto-para-a-transformacao-digital/>. Acesso em: 17 set. 2024.

NORDIC BIM GROUP. **Archicad BIM ano 1984**. Disponível em: <https://nordicbim.com/sv/bim-ekonomi>. Acesso em: 15 set. 2024

PANTOJA, João, et al. A Influência da Ponderação na Avaliação do Grau de Criticidade em Edificações de Múltiplos Pavimentos Via Inspeção Predial. **Paranoá**, 2020, no 26, p. 126-139.

PONTES, Aline dos Santos; MENECH, Everton Luiz de. **Criação de protótipo com sistema supervisorio para controle de temperatura da água em canos de PVC**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9841>. Acessado em 13 de abr. 2024

PUBLIO, Ravi Matheus Mozileev; PEDROSO, Thiago. Desafios Na Compatibilização Usando BIM. **Revista Acadêmica Online**, v. 10, n. 51, p. 1-25, 2024.

QUEIROZ JUNIOR, Cleanto Carlos de. **A utilização da impressão 3D na construção civil**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RIZZATTI, Cleonice Lucia. Da teoria prototípica da categorização de Rosch à teoria de protótipos de Kleiber. **Revista Língua&Literatura**, v. 3, n. 6 e 7, p. 11-26, 2001.

ROCHA, Rodrigo Bongiovani Lima *et al.* Prototipagem Na Fase De Desenvolvimento De Projeto: Benefícios Na Operação E Manutenção De Facilities. **Revista Científica SENAI-SP-Educação, Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 1, p. 89-105, 2022. Disponível em: <https://periodicos.sp.senai.br/index.php/rcsenaisp/article/view/7>. Acessado em 16 de abr. 2024

SANTOS, Saulo. **Traços, protótipos, campos semânticos**. Fundamentos de Semântica. 2018.

SAAD, Jéssica Lemos. **A importância da inspeção predial a fim de detectar falhas e anomalias em edificações de múltiplos pavimentos estudo de caso: residencial bloco A'SQN 311–Brasília DF**. 2017.

SANTOS, Adriana de Paula Lacerda *et al.* A utilização do BIM em projetos de construção civil. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial, Florianópolis**, v. 1, n. 2, p. 24-42, 2009.

SANTOS, Adriano Lucas Luna dos. **Análise comparativa entre instalações prediais de água fria com utilização de PEX e PVC-estudos de caso: condomínios praia de Ponta Negra e praia de Pipa em Natal/RN**. 2022. Tesis de Licenciatura. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/48722>. Acessado em 11 mar. 2024

SANTOS, Cláudio Lisboa dos; ROCHA, Angela Machado. Prototipagem e sua Prospecção Tecnológica para Patente de Invenção. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 99839-99858, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/21880>. Acessado em 15 de abr. 2024

SANTOS, Leilane Sousa *et al.* **Desafios da construção de um prédio comercial na cidade de Balsas–MA: estudo de caso**. 2021. Disponível em: <https://rosario.ufma.br/jspui/handle/123456789/5244>. Acessado em 13 de abr. 2024

SILVA JUNIOR, Izaque José Da; BATISTA, Leandro Nunes. **Protótipo de sistema de análise automatizada de atividades para a construção civil**. 2017. DSpace Repository. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/456>. Acessado em 12 mar. 2024

SILVA, Bruno Gomes. A influência do planejamento a execução de obras. **Semana Acadêmica Revista Científica**. 2020. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/influencia-do-planejamento-execucao-de-obras>. Acessado em 12 mar. 2024

SILVA, Marili Siqueira et al. Administração de recursos materiais na construção civil: Gestión de los recursos materiales en la industria de la construcción. **Editora Home Publishings**, p. 18-43, 2023.

TEIXEIRA, Alexandre Gomes. **Planejamento de instalações hidráulicas na construção civil**. Centro Universitário Anhanguera de São Paulo – Pirituba. 2021. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/65851>. Acessado em 11 mar. 2024

VICENTE, Matheus Simon; HAITO, Ricardo Oviedo; CARDOSO, Francisco Ferreira. **Redução de vínculos na subcontratação: o caso de uma empresa de instalações prediais**. Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, v. 17, n. 1, p. 1885-1890, 2018. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/issue/view/15>. Acessado em 13 de abr, 2024

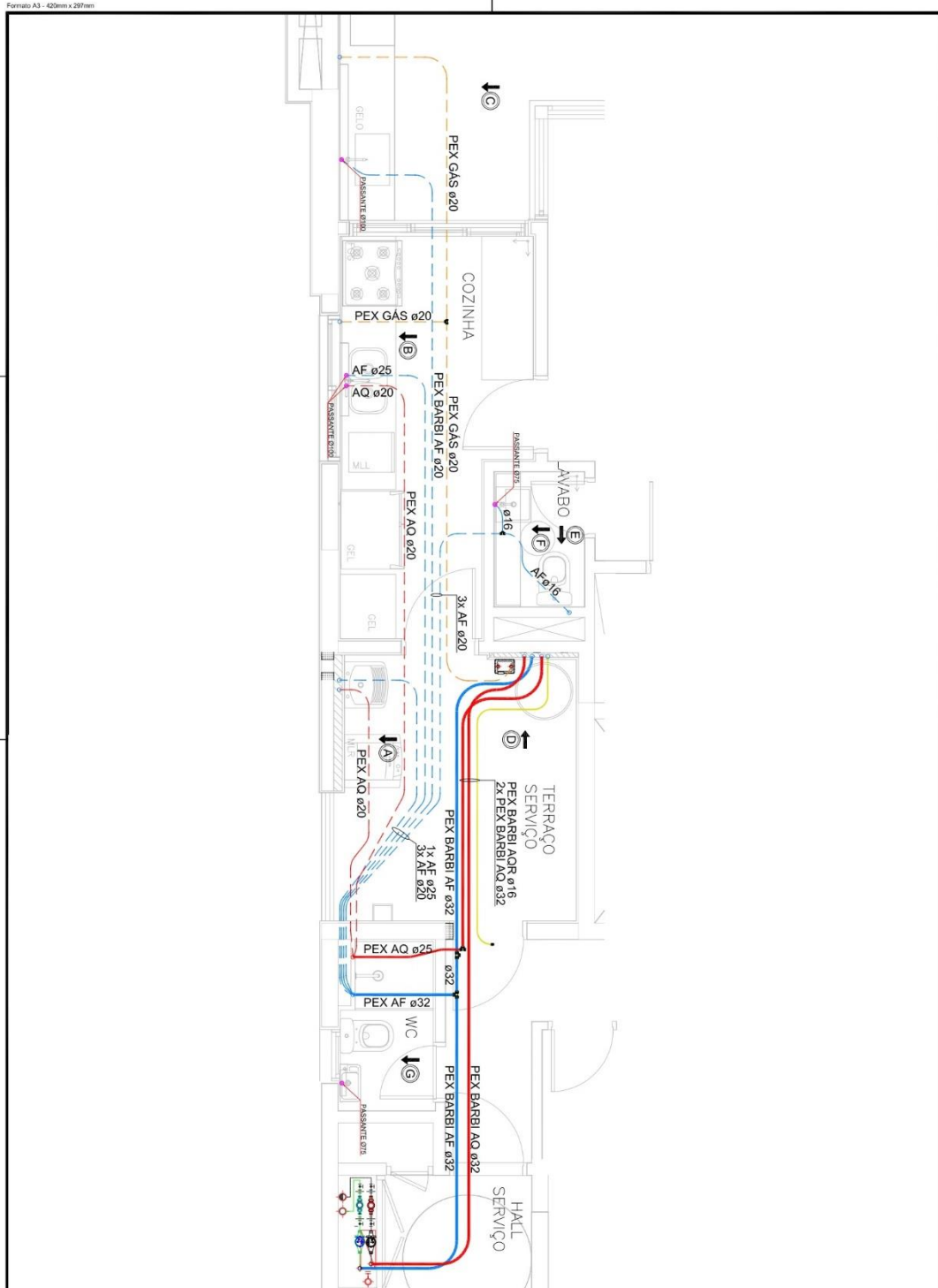
• Projeto inicial

The drawing is a technical architectural plan for an initial project. It features a large floor plan at the top right, showing a complex layout of rooms, corridors, and service areas. Below the floor plan are several technical details and sections, including:

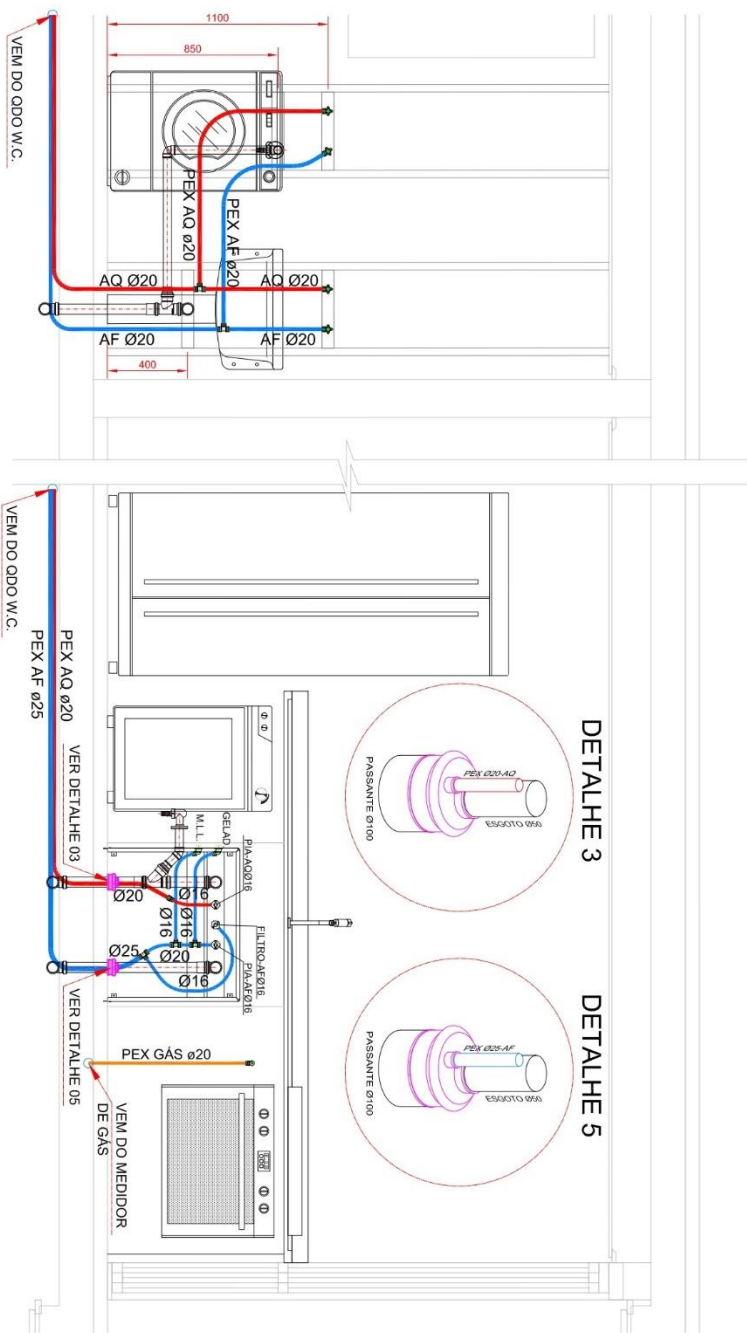
- Legend (LEGENDA SIMBOLICA):** A table defining symbols used in the drawing, such as doors, windows, and furniture.
- Section Details:** Vertical sections showing structural elements like beams, columns, and floor slabs, with associated dimensions and material specifications.
- Plan Details:** Horizontal sections showing wall and window details, including reinforcement and insulation.
- Structural Grids:** A grid system used for reference in the layout.

The drawing is enclosed in a rectangular frame with a scale bar at the top left. The text is in Portuguese, and the drawing uses standard architectural conventions for lines and shading.

- **Projetos modificados**



Formato A3 - 420mm x 297mm

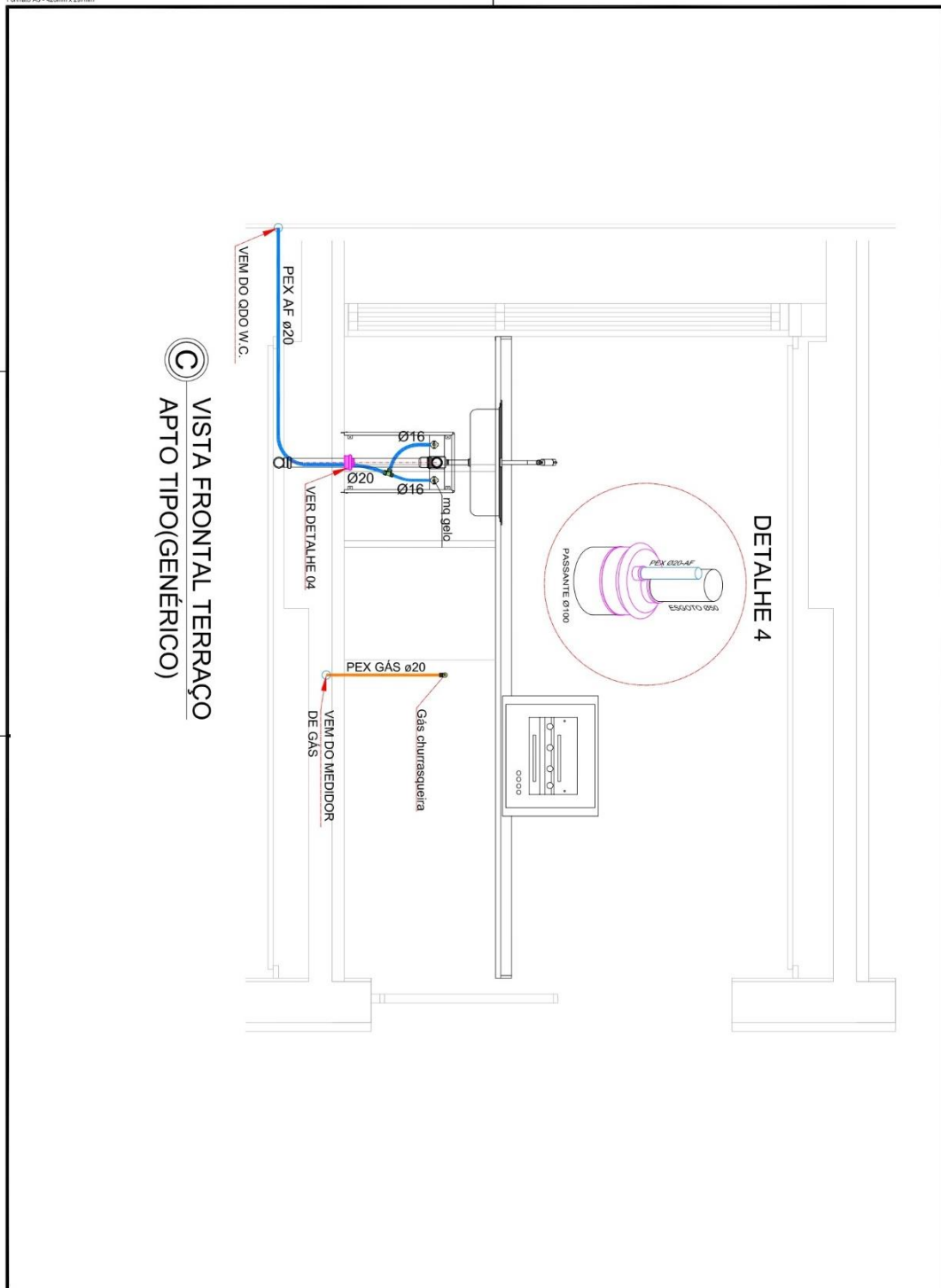


A VISTA FRONTAL A. SERVIÇO
APTO TIPO(GENÉRICO)

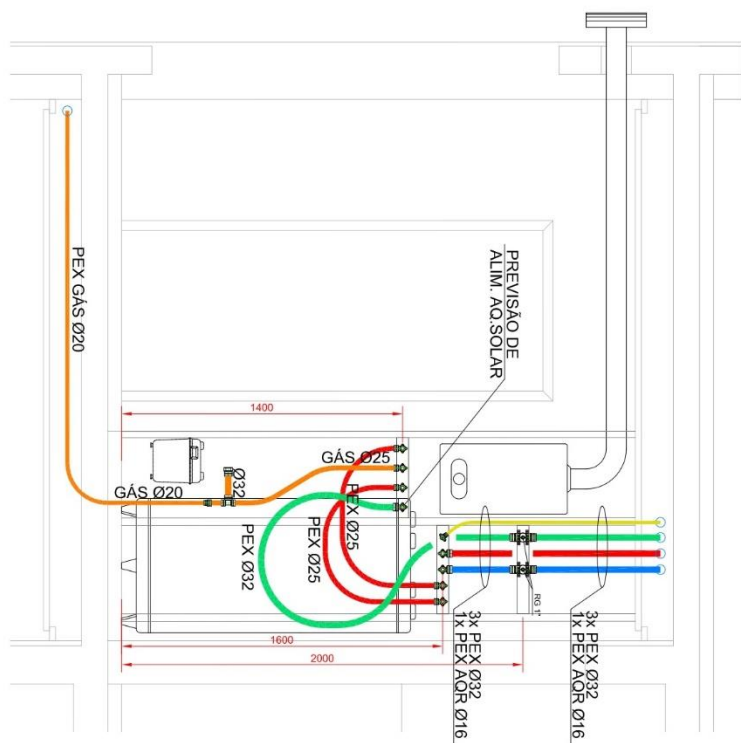
B VISTA FRONTAL COZINHA
APTO TIPO(GENÉRICO)

1.1. Para obter o layout de instalação, consulte o manual de instalação do equipamento. 1.2. O layout de instalação deve ser adaptado às condições locais de instalação.

Formato A3 - 420mm x 297mm

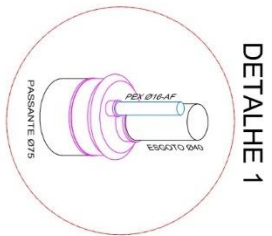
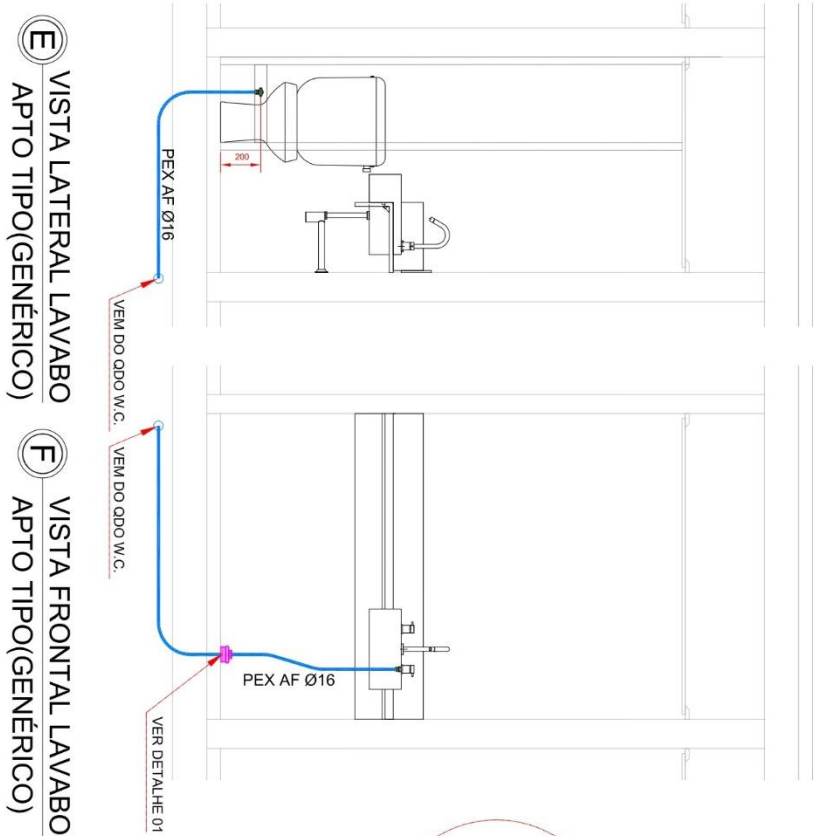


Formato A3 - 420mm x 297mm

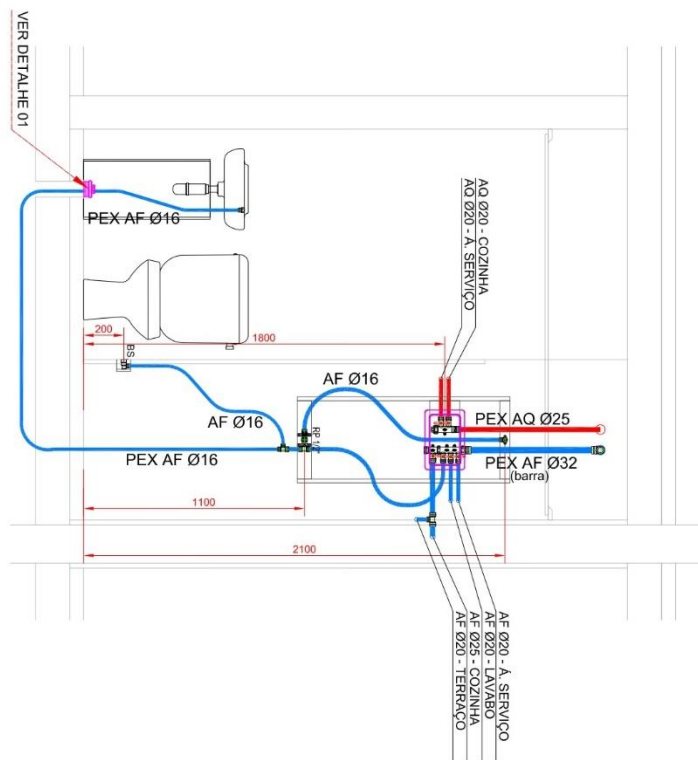
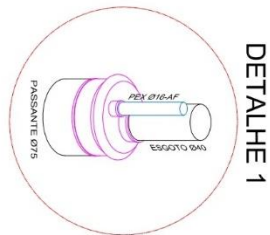


D VISTA FRONTAL TERRAÇO SERVIÇO
APTO TIPO(GENERICO)

Formato A3 - 420mm x 297mm



Formato A3 - 420mm x 297mm



Ⓒ VISTA FRONTAL BANHO W.C.
APTO TIPO(GENÉRICO)

AF Ø20 - A. SERVIÇO
AF Ø20 - LAVABO
AF Ø25 - COZINHA
AF Ø20 - TERRAÇO