

VIABILIDADE ECONÓMICA E FUNCIONAL DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

CARLOS MARIA AZEVEDO MEIRELES RAMALHO FONTES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

Coorientador: Engenheiro Pedro Freitas

JULHO DE 2024

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil – 2023/2024 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família

O importante é não parar de questionar

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa pela sua disponibilidade e ajuda prestada durante o desenvolvimento deste trabalho.

De seguida, à empresa Ferreira Construções, em especial ao meu coorientador, Eng. Pedro Freitas, por me ter acolhido e dado a oportunidade de participar na resolução de desafios de um projeto real.

Queria também deixar um agradecimento especial ao Tomás e ao José Maria, não só por terem sido excelentes companheiros de curso, mas também grandes amigos ao longo de todo este percurso.

Por fim, o agradecimento mais importante a todos os meus familiares e amigos, pela sua disponibilidade e apoio durante este percurso.

RESUMO

O setor da construção em Portugal enfrenta enormes problemas que impactam diretamente na eficiência das obras, nomeadamente a baixa produtividade, atrasos recorrentes, derrapagens de custos e escassez de mão de obra. As empresas de construção estão atualmente muito dependentes dos trabalhadores estrangeiros, alguns com pouca qualificação, que estão a colmatar a falta de mão de obra em Portugal. Este conjunto de desafios torna imperativa a procura de novos métodos construtivos.

Para além disso, as famílias portuguesas, sobretudo as de rendimento médio e baixo, têm enfrentado sérios problemas no acesso à habitação. É por isso, necessário construir mais fogos e disponibilizá-los mais rapidamente no mercado.

Assim, a pré-fabricação surge como uma das principais respostas a estes problemas, com fortes argumentos, como a redução de prazos, melhores garantias de qualidade e sustentabilidade de todo o processo construtivo.

Abordando a pré-fabricação, surgiu a possibilidade de estudar qual o impacto nos custos e tempo de execução de uma construção em estrutura metálica, alternativamente aos métodos convencionais. A análise baseou-se nos custos e nas implicações no planeamento. No mesmo âmbito foi também considerado o impacto da adoção de casas de banho pré-fabricadas. Para uma análise mais completa foram abordadas algumas questões do desempenho funcional do edifício e quais as especificidades da solução que poderão representar potenciais fragilidades desta solução.

A estrutura da análise teve por base inicialmente o estudo de um empreendimento em estrutura metálica e utilização de casas de banho pré-fabricadas, que posteriormente foram comparadas com outros métodos tradicionais a nível de custos e impacto no plano de trabalhos da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas metálicas, Pré-fabricação, Indústria da Construção, Planeamento, Custos.

ABSTRACT

The construction sector in Portugal faces huge problems that directly impact the efficiency and productivity of construction work, namely low productivity, recurring delays, cost overruns and a shortage of skilled labour. Construction companies are dependent on unskilled foreign labourers coming to Portugal. This set of challenges makes the search for new construction paradigms imperative.

In addition, Portuguese families, especially those on low and middle incomes, are facing serious problems in accessing affordable housing. It is therefore necessary to build more homes and make them available quickly on the market.

Prefabrication has therefore emerged as one of the main responses to these problems, with strong arguments such as shorter deadlines, better quality guarantees and sustainable construction.

Approaching the theme of prefabrication, appeared the possibility to study the impact of a building with a metal structure, as an alternative to conventional methods, on the construction of a residential building in the licensing phase. The analysis was based on costs and the implications in planning. For a more complete analysis, some of the building's functional performance issues were also addressed, as well as the specifics of the solution that could represent weaknesses.

KEYWORDS: Steel structures, prefabrication, construction industry, construction schedule, costs.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	2
2. A CONSTRUÇÃO PRÉ FABRICADA EM EDIFÍCIOS.....	3
2.1. DESAFIOS ATUAIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.....	3
2.1.1. BAIXA PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA.....	3
2.1.2. ATRASOS E PRAZOS EXCEDIDOS / ATRASOS E PROCESSOS LONGOS	4
2.1.3. DERRAPAGEM DE CUSTOS	5
2.1.4. ESCASSEZ DE MÃO DE OBRA QUALIFICADA	6
2.2. A NECESSIDADE DE UMA MUDANÇA DE PARADIGMA.....	7
2.3. POTENCIAL PARA UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÕES PRÉ FABRICADAS.....	8
2.3.1. INTRODUÇÃO / CONCEITO DE PRÉ FABRICAÇÃO.....	8
2.3.2. PRINCIPAIS VANTAGENS DA PRÉ FABRICAÇÃO	10
2.3.2.1. Redução de Prazos e Custos.....	10
2.3.2.2. Melhor Controlo de Qualidade e Durabilidade.....	12
2.3.2.3. Sustentabilidade e Redução de Resíduos.....	12
2.3.3. DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO.....	13
3. UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÕES EM ESTRUTURA METÁLICA.....	15
3.1. INTRODUÇÃO	15
3.2. MÉTODOS DE PRODUÇÃO.....	16
3.3. PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS E RESPETIVAS SOLUÇÕES.....	19
3.3.1. RESISTÊNCIA AO FOGO	19

3.3.2. RESISTÊNCIA/COMPORTAMENTO ESTRUTURAL	22
3.3.3. COMPORTAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO	24
3.3.4. CORROSÃO	25
3.4. SUSTENTABILIDADE E IMPACTO AMBIENTAL	27
3.4.1. POLUIÇÃO E EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	27
3.4.2. PRODUÇÃO DE RESÍDUOS E VIDA ÚTIL	29
3.4.3. ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEIS	29
3.4.4. COMPARAÇÃO COM OUTROS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	31
3.5. CUSTOS E PRAZOS DE CONSTRUÇÃO	33
4. ANÁLISE DE UM CASO DE ESTUDO	37
4.1. INTRODUÇÃO	37
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	37
4.2.1. ENQUADRAMENTO NO PROGRAMA DE HABITAÇÃO A CUSTOS CONTROLADOS.....	37
4.2.2. DESCRIÇÃO DO PROJETO.....	38
4.2.3. MOTIVO DA ESCOLHA DE ESTRUTURA METÁLICA	39
4.3. PLANEAMENTO E EXECUÇÃO DA OBRA	40
4.4. ANÁLISE DE CUSTOS	43
4.4.1. SOLUÇÃO ESTRUTURAL.....	43
4.4.2. CASAS DE BANHO.....	46
4.4.3. CUSTOS DE ESTALEIRO	48
4.5. ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE.....	50
4.6. DESEMPENHO FUNCIONAL.....	50
4.6.1. TÉRMICA E ACÚSTICA.....	50
4.6.2. COMPATIBILIDADE ENTRE MATERIAIS	51
4.6.3. RESISTÊNCIA AO FOGO E CORROSÃO.....	52
4.6.4. MÓDULOS PRÉ-FABRICADOS	52
5. COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO: BETÃO ARMADO VS ESTRUTURA METÁLICA	55
5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	55
5.2. COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA COM UMA EM BETÃO ARMADO	56
5.2.1. PLANEAMENTO DA OBRA.....	56
5.2.2. ANÁLISE DE CUSTOS.....	59
5.2.2.1. Solução Estrutural.....	59

5.2.2.2. Casas de Banho	60
5.2.2.3. Estaleiro.....	61
5.2.2.4. Análise Global.....	62
5.2.3. SUSTENTABILIDADE.....	63
5.2.4. EXIGÊNCIAS E DESEMPENHO.....	63
5.2.4.1. Resistência ao Fogo e Corrosão	63
5.2.4.2. Comportamento Térmico e Acústico	64
5.3. ANÁLISE DE OUTRAS VARIANTES	64
6. CONCLUSÕES	69
6.1. CONCLUSÕES.....	69
6.2. RECOMENDAÇÕES FUTURAS	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo do Investimento Imobiliário	5
Figura 2 – Diferentes tipos de soluções de pré-fabricação [9]	8
Figura 3 - Fachada Modular [11]	9
Figura 4 - Sistema de Fachada modular pré-fabricada [12]	10
Figura 5 - Vigas de Betão armado pré-fabricadas [13]	10
Figura 6 - Comparação de custos entre construção convencional e construção <i>off-site</i> [14]	11
Figura 7 - Pré-fabricação de casas de banho [16]	12
Figura 8 – Produção de aço em milhões de toneladas e percentagem do método de produção em diferentes regiões [21]	16
Figura 9 – Produção de toneladas de aço por método e por diferentes países da União Europeia [21]	17
Figura 10 – Secção transversal de perfis IPN e HEB, respetivamente [22]	18
Figura 11 – Tabela de catálogo de perfis estruturais [22]	18
Figura 12 - Curva Resistência-Temperatura para diferentes materiais [24]	19
Figura 13 - Esquema de possível solução de camadas num perfil metálico [28]	20
Figura 14 - Simulação de comportamento de tinta intumescente quando submetido ao fogo [29]	20
Figura 15 - Esquema de funcionamento de proteção contra o fogo com placas de gesso cartonado [30]	21
Figura 16 - Estrutura Metálica com chapa colaborante [34]	23
Figura 17 - Esquema da tecnologia de uma laje colaborante [35]	23
Figura 18 - Consumo Final de Energia das Indústrias de Produção de Aço e Cimento [20]	28
Figura 19 - Média de emissões de CO ₂ por região [21]	29
Figura 20 - Montagem de fachada pré-fabricada em sistema CREE [45]	32
Figura 21 - Montagem de estrutura metálica [34]	34
Figura 22 - Variação mensal do valor do minério de ferro nos últimos 20 anos [47]	35
Figura 23 - Variação percentual de preço do minério de ferro e petróleo nos últimos 20 anos [47]	35
Figura 24 - Instalações siderúrgicas na Europa [21]	36
Figura 25 - Imagem 3D do projeto	38
Figura 26 - Alçado principal	38
Figura 27 – Exemplo de planta de frações: a) T1, b) T2	39
Figura 28 - Modelo 3D do projeto de estruturas (Metal + Betão)	40

Figura 29 - Esquema do processo de montagem de estrutura metálica e início dos trabalhos de alvenaria	41
Figura 30 - Chegada dos módulos pré-fabricados à obra [48]	42
Figura 31 – Diagrama de <i>Gantt</i> retirado do <i>Microsoft Project</i> de sequência dos grupos de tarefas da obra	43
Figura 32 - Elementos estruturais metálicos (pilares e vigas)	44
Figura 33 - Elementos estruturais em betão	46
Figura 34 - Transporte dos módulos [49]	47
Figura 35 - Esquema de ligação da alvenaria á estrutura metálica [52].....	52
Figura 36 - Esquema do processo de realização da estrutura em betão armado e começo dos trabalhos de alvenaria	57
Figura 37 - Esquema retirado do <i>Microsoft Project</i> da sequência dos principais grupos de tarefas para solução em Betão armado com casas de banho feitas tradicionalmente	58
Figura 38 - Diagrama de <i>Gantt</i> comparativo das duas soluções	59
Figura 39 - Gráfico Comparativo de custos associados à estrutura das duas soluções	60
Figura 40 - Preços para as casas de banho nas diferentes soluções	61
Figura 41 - Comparação global do custo das duas soluções	62
Figura 42 - Esquema retirado do <i>Microsoft Project</i> de sequência dos grupos de tarefas da obra para solução em estrutura metálica com casas de banho feitas <i>in loco</i>	64
Figura 43 - Esquema retirado do <i>Microsoft Project</i> de sequência dos grupos de tarefas da obra para solução em Betão armado com casas de banho pré-fabricadas	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Categorias de corrosividade atmosférica [37]	26
Tabela 2 – Comparação dos benefícios do aço em relação à madeira [46]	33
Tabela 3 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra.....	43
Tabela 4 - Orçamento para fornecimento e montagem da estrutura metálica	44
Tabela 5 - Orçamento para betão <i>in situ</i>	45
Tabela 6 - Preço Final de Solução com estrutura metálica	46
Tabela 7 - Estimativa de Custos para Casas de Banho Pré-fabricadas.....	48
Tabela 8 - Estimativa de custos de estaleiro	49
Tabela 9 - Resíduos gerados na fase de execução da estrutura [50] [51]	50
Tabela 10 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra para solução com estrutura em betão armado	58
Tabela 11 - Estimativa Custo Total de Solução em Betão Armado.....	59
Tabela 12 - Diferença de Custos diretos entre as duas soluções	60
Tabela 13 - Estimativa de custos de estaleiro para solução em betão armado	62
Tabela 14 - Comparação de aspetos da sustentabilidade das duas soluções.....	63
Tabela 15 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra.....	65
Tabela 16 – Estimativa de custo da solução com estrutura metálica com casas de banho feitas tradicionalmente	65
Tabela 17 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra.....	66
Tabela 18 – Estimativa Custo da solução com estrutura em betão armado com casas de banho pré-fabricadas	67
Tabela 19 - Síntese de custos e prazos de todas as soluções.....	67

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ATC – Área Total de Construção

BOF – Alto forno

CCUS – Captura de carbono, armazenamento e utilização

CEO – Chief Executive Officer (Diretor Executivo)

CO₂ – Dióxido de Carbono

EAF – Forno de arco elétrico

ETICS – External Thermal Insulation Composite System (Sistema de isolamento térmico pelo exterior)

IC – Indústria da Construção

MTOE – tonelada equivalente de petróleo

ONU – Organização das Nações Unidas

PALOP – Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa

PIB - Produto Interno Bruto

R60 – Resistência ao fogo sem perder funções estruturais por um período de pelo menos 60 minutos

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A indústria da construção (IC) enfrenta neste momento grandes desafios. Esta indústria, que é a maior do mundo e representa 13% do PIB Mundial, tem vindo a sofrer grandes problemas no que se refere ao crescimento da produtividade, com um crescimento inferior a 1,0% nos últimos vinte anos, face a 2,8% para o total da economia [1]. Os prazos de construção são muito longos, os processos de licenciamento muito demorados, a mão de obra qualificada é cada vez mais escassa e os processos continuam a ser muito arcaicos.

Num universo onde as preocupações com o meio ambiente e os resíduos se tornam cada vez mais um tema de discussão entre todos os intervenientes da sociedade, a IC, sendo a mais poluente, deve repensar os seus modelos. Os novos processos, como a pré-fabricação, ajudam a reduzir de maneira drástica estes resíduos em obra e promovem o reaproveitamento de materiais.

Deste modo, nos últimos anos, o paradigma da IC tem vindo a ser alterado, partindo para soluções mais industrializadas. A transferência de parte das operações para fábricas e produções em série, não só aumenta a qualidade dos componentes, como reduz significativamente os prazos de execução em obra.

Contudo, estas soluções pré-fabricadas, que cada vez mais parecem ser o próximo normal na construção, podem representar soluções mais caras. Isto porque a oferta no mercado é ainda reduzida, não havendo suficiente concorrência ou ganhos de escala que permitam produzir com custos mais reduzidos, mas também porque o transporte de peças ou componentes pré-fabricados, devido ao seu peso e dimensões, torna-se mais desafiante e conseqüentemente mais dispendioso.

Neste contexto, surge então uma proposta por parte da empresa Ferreira Construção, de estudar a viabilidade de um projeto pensado para ter uma estrutura metálica e analisar de que forma poderá dar resposta aos principais problemas da indústria.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Com o foco na análise da mais-valia da introdução destas soluções nos projetos do futuro, e com base num caso concreto de um projeto de um edifício de habitação projetado para ter uma estrutura metálica, elaboraram-se os seguintes objetivos para o desenvolvimento deste trabalho:

- avaliação da forma como a pré-fabricação dará resposta às principais exigências de construção aplicáveis – estabilidade, segurança ao fogo, adequação ao uso, conforto térmico e acústico, eficiência energética, durabilidade e sustentabilidade;
- A facilidade da solução se coordenar com outros elementos construtivos – fachadas, divisórias, acabamentos, instalações, etc.;
- Estudo da execução e prazos de trabalho;
- Custos de construção.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho divide-se em seis capítulos principais:

- Primeiro capítulo – introdução e objetivos da dissertação
- Segundo capítulo – resultados da pesquisa sobre como a pré-fabricação pode dar resposta aos principais problemas que a IC apresenta em Portugal, sendo apresentadas algumas soluções de elementos feitos fora do local da obra, e as respetivas vantagens;
- Terceiro capítulo – no âmbito das vantagens da construção *off-site* apresenta-se uma pesquisa sobre as estruturas metálicas pesadas e como podem ser integradas numa obra;
- Quarto capítulo – caso de estudo de um edifício projetado em estrutura metálica e lajes colaborantes. Os principais focos da análise foram o preço de aquisição dos elementos e as implicações que terão no planeamento e orçamento da obra;
- Quinto capítulo – tendo por base o caso de estudo abordado no capítulo anterior são comparadas as alternativas de construção betão armado versus estrutura metálica;
- Sexto capítulo – conclusões e recomendações futuras.

2

A CONSTRUÇÃO PRÉ FABRICADA EM EDIFÍCIOS

2.1. DESAFIOS ATUAIS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

2.1.1. BAIXA PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA

Como já foi visto anteriormente, a IC tem sofrido com baixos níveis de produtividade, o que retarda o desenvolvimento do setor.

Existem alguns fatores mais concretos, que assumem uma importância estrutural no que se refere à produtividade [2]:

- **Capacidade e qualificação da mão de obra:** a formação oferecida aos trabalhadores da obra torna-se um tema fundamental quando se fala em produtividade. É essencial que estes estejam totalmente cientes dos procedimentos de trabalho, de maneira a executarem de forma mais eficiente as tarefas e minimizando os desperdícios de material. Para além do conhecimento da vertente prática, é também bastante relevante o conhecimento das regras correntes no interior do estaleiro, tanto a nível de segurança como a nível de conduta.
- **Metodologia de trabalho utilizada:** a determinação do método de trabalho a utilizar na construção civil representa uma tarefa desafiadora, uma vez que há diferentes tipos de abordagens para a realização da mesma tarefa. Esta versatilidade, apesar de poder contribuir para uma maior criatividade, dificulta a decisão do melhor procedimento construtivo, isto porque muitas vezes não é evidente qual das hipóteses permite maior rendimento do operário e da matéria-prima.
- **Organização do estaleiro:** a disposição do estaleiro de uma obra é um reflexo da filosofia de trabalho que se pratica na mesma. Num local onde é constante o fluxo de veículos pesados e frequente a montagem de elementos pesados, uma boa configuração do estaleiro facilita a rápida movimentação de materiais e trabalhadores, promovendo melhores condições de segurança, resultando assim num avanço mais eficiente da empreitada.
- **Processos de produção:** numa obra, muitas tarefas seguem uma abordagem sistemática, semelhante ao que se observa numa linha de produção industrial. São exemplo de algumas dessas tarefas a montagem de cofragens, armaduras, a produção de betão, argamassas, entre outros. É crucial garantir rigor e sistematização nesses processos, para garantir um avanço mais rápido da obra. Esta sistematização consegue-se quando há uma maior estabilidade das equipas de trabalho, o que permite que os trabalhadores se tornem mais proficientes na realização das tarefas por já conhecerem o processo utilizado.

Para além destes fatores principais existem muitos outros que, acrescidos a estes, fazem escalar o problema da produtividade, como um ecossistema cada vez mais fragmentado. Os projetos são

compostos por uma grande quantidade de intervenientes, desde projetistas, empreiteiros, consultores, subcontratados, fornecedores de materiais, entre outros, sendo que esta dispersão de responsabilidades contribui para um baixo nível de colaboração em toda a cadeia de valor, acabando cada empresa por gerir individualmente o seu risco e o seu próprio interesse. Para além disso, cada vez mais os projetos estão sujeitos a uma extensa regulamentação, onde cada local tem os seus próprios códigos de construção, o que se torna um desafio extra para as empresas que estão presentes em diferentes geografias e dificulta a padronização de processos, materiais e produtos. Paralelamente, os clientes tornam-se cada vez mais exigentes, procurando projetos únicos e altamente personalizados, o que impede a repetibilidade e padronização, exigindo uma constante aprendizagem e adaptação por parte de todos os intervenientes a cada projeto [1].

Essas exigências, em muitos casos, acabam também por influenciar os prazos e os custos da obra e envolvem tarefas com uma percentagem de trabalho manual muito elevada, e como vai ser abordado em 2.1.4 a indústria está a evoluir no sentido oposto.

Apesar da digitalização apresentar alguns desafios, como a necessidade de investimento em tecnologia, a formação das equipas de trabalho nas empresas que melhor conseguem integrar e aplicar com sucesso estas tecnologias nos seus procedimentos, são as que têm maior probabilidade de melhorar a sua eficiência e competitividade no mercado.

No entanto a IC não é a única a lidar com problemas com a produtividade. Alguns setores como a construção naval, a fabricação de aviões comerciais, a produção automóvel e a agricultura já enfrentaram situações semelhantes. A análise de mudanças nessas indústrias revela, sem dúvida, que a inovação tecnológica e os métodos de trabalhos novos tiveram um papel determinante na transformação.

2.1.2. ATRASOS E PRAZOS EXCEDIDOS / ATRASOS E PROCESSOS LONGOS

Os atrasos na construção são um problema comum que na maioria das vezes desencadeia conflitos entre o dono de obra e o empreiteiro. Por um lado, para o dono de obra, os atrasos representam uma maior demora para o retorno do investimento realizado, enquanto o empreiteiro vê uma redução dos lucros, o que prejudica a saúde financeira da sua empresa. Muitos destes conflitos são levados a tribunal, introduzindo no processo ainda mais entidades e intervenientes, que prolongam o tempo de resolução, o que agrava as divergências entre o dono de obra e o empreiteiro. A grande dificuldade consiste em resolver esses problemas na sua raiz, a obra [2].

A falta de coordenação das equipas de projeto, aliadas às expectativas, muitas vezes irrealistas, dos clientes, é mais um dos fatores que contribui para os atrasos na construção. Existe também muitas vezes, uma enorme pressão por parte dos clientes para uma entrega rápida dos projetos, que mais tarde acaba por ter o efeito inverso: os projetos são entregues com inúmeros erros e omissões que tem de ser esclarecidos já em fase de obra, o que, evidentemente, atrasa a realização dessas tarefas [3]. É fundamental investir em processos eficazes de gestão de projetos e metodologias de monitorização para conseguir identificar mais cedo estes possíveis problemas, antes que representem custos adicionais e atrasos para a obra.

Qualquer decisão que tenha de ser tomada em obra, que não estivesse prevista no projeto de execução, vai refletir-se numa perda de tempo na resolução desse problema, que atrasa o andamento da obra. Ainda que a decisão passe por adotar um sistema ou tecnologia mais simples, teve de ser gasto tempo na tomada de decisão e ponderação dessa mesma solução.

É recorrente, principalmente em obras de edifícios de habitação, quando há unidades habitacionais a serem adquiridas durante a fase de construção, que o cliente queira fazer as suas alterações ao projeto, adaptando-a aos seus gostos e requisitos. Apesar de esta decisão ter de ser aprovada pelo dono de obra e empreiteiro, e onde muitas vezes o empreiteiro consegue faturar mais com trabalhos não contratualizados, este tipo de medidas perturba o desenvolvimento da obra

A conclusão dos projetos de construção acaba por demorar, normalmente, e em média, mais 20% do que o previsto inicialmente [1].

Para além disso, o ciclo de vida de um projeto imobiliário, desde a conceção à operação, engloba inúmeras etapas, dependentes umas das outras, cada uma com os seus próprios requisitos e desafios (Figura 1). Os processos de licenciamento tradicional envolvem múltiplas etapas e requisitos burocráticos, por vezes redundantes, que geram atrasos e custos adicionais para os promotores e construtores. As entidades municipais responsáveis pelo licenciamento de obras, nem sempre tem os recursos humanos e tecnológicos necessários para dar resposta ao número de pedidos, resultando evidentemente em processos ainda mais longos.

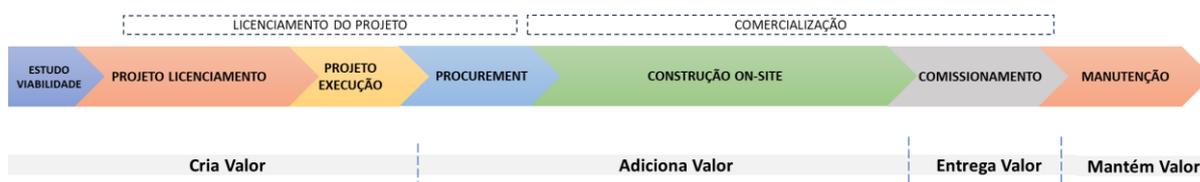


Figura 1 - Ciclo do Investimento Imobiliário

Como vai ser abordado no quarto capítulo, a fase do *procurement*, em projetos de promoção própria pode ser ultrapassado, por não ser necessário fazer nenhum concurso para a escolha do empreiteiro.

Estes atrasos nos processos de licenciamento aumentam os custos associados ao investimento realizado por parte dos promotores, e tornam o mercado imobiliário menos competitivo, o que desincentiva os investimentos e agrava as dificuldades já existentes no acesso à habitação.

Para dar resposta a algumas destas questões, surge o Simplex Urbanístico publicado no início do ano de 2024, que tem como principal objetivo a “reforma e simplificação dos licenciamentos no âmbito do urbanismo, ordenamento do território e indústria”. Dentro das mudanças, apresentam-se algumas das mais relevantes:

- Eliminação de licenças e autorizações;
- Criação de um regime de comunicação prévia;
- Simplificação dos procedimentos;
- Definição de prazos máximos;
- Disponibilização de plataformas online.

2.1.3. DERRAPAGEM DE CUSTOS

Num projeto de construção, todos os intervenientes entram com intuito de obter o maior lucro possível, assim sendo, esta é uma das matérias mais importantes no que toca às responsabilidades do diretor de obra.

Na execução de uma empreitada, os custos inerentes a esta podem ser classificados em 3 diferentes grupos [4]:

- **Custos diretos:** os que estão diretamente ligados à produção da obra, como custos da mão de obra, materiais e outros elementos da construção, assim como custos com equipamentos e ferramentas necessárias utilizadas na execução dos trabalhos;
- **Custos indiretos:** os que estão ligados à operação da empresa, mas não podem ser diretamente atribuídos às obras, como por exemplo, salários, despesas administrativas e custos relacionados com a sede;
- **Custos de estaleiro:** aqueles que estão relacionados com uma obra em particular, mas que não podem ser especificamente atribuídos às tarefas individuais do orçamento, como eletricidade, água, aluguer de contentores, vedações e equipamentos não diretamente associados aos custos diretos.

O problema dos custos das empreitadas está fortemente relacionado com o dos atrasos, uma vez que qualquer desvio nos prazos estabelecidos resultará, inevitavelmente, em implicações financeiras, pelo menos no que diz respeito aos custos de estaleiro.

Uma das principais consequências deste aumento de custos e orçamento é o impacto direto na rentabilidade do empreendimento. Tanto o dono de obra como o empreiteiro são fortemente prejudicados nesta componente. Para o dono de obra implica uma inevitável redução na margem de lucro esperada, podendo pôr em risco a saúde financeira da empresa. Já para o empreiteiro, para além de ter de lidar com os desafios adicionais na gestão financeira do projeto, poderá ver comprometida a sua reputação no mercado, o que pode levar a uma perda de confiança por parte dos clientes.

Os diferentes intervenientes envolvidos num projeto raramente colaboram de forma eficaz, sobretudo devido a incentivos mal alinhados. Por exemplo, muitas vezes os proprietários e donos de obra tentam minimizar os custos de projeto e transferir riscos, como propriedades do solo ou flutuações nos preços dos materiais, para outros intervenientes. Os empreiteiros tentam por vezes encontrar lucros através de trabalhos adicionais relacionados com reclamações, o que pode incentivar a não destacarem desde o início problemas relacionados com erros ou omissões no projeto. Este comportamento, como já foi referido, põe em causa a reputação do empreiteiro. Um outro fator são os incentivos e descontos que podem ser oferecidos, por parte dos distribuidores e fornecedores de materiais, aos subcontratantes, que podem obscurecer o verdadeiro custo dos materiais [1]. Este desalinhamento, resulta também em custos excessivos, uma vez que as partes interessadas podem não estar totalmente motivadas em encontrar a solução mais eficiente em termos de custos e funcionamento.

A principal consequência económica é a redução da competitividade do setor da construção. Esta redução de competitividade é resultado da complexidade da sua operação, da falta de transparência e flexibilidade de negociação e da burocracia excessiva. Todos estes fatores tornam o sector imprevisível, conflituoso e dúbio, o que traz falta de confiança dos intervenientes e riscos acrescidos pela impossibilidade de controlar à partida todas as variáveis [5].

2.1.4. ESCASSEZ DE MÃO DE OBRA QUALIFICADA

A escassez de mão de obra qualificada, apesar de não ser um problema recente, é um dos desafios que tem estado a impedir o crescimento e desenvolvimento do setor. Com base em estatísticas, prevê-se um crescimento populacional global, estimando-se que dois terços da população passem a viver em áreas urbanas. Problemas como a falta de mão de obra, têm dificultado a resposta à construção das infraestruturas necessárias para suprir a esta procura [6]. Em Portugal, à data de janeiro de 2024, o

Sindicato da Construção afirmou que estavam em falta cerca de 90 mil trabalhadores, o que faz com que o setor tenha de depender de trabalhadores estrangeiros, sem qualquer qualificação [7].

Um estudo feito pela *McKinsey & Company*, em 2020, ainda antes da pandemia da COVID-19, a 400 *CEO's* da IC, mostra que 87% dos inquiridos acredita que a escassez de mão de obra qualificada é o fator de mercado que terá maior impacto na IC, e que em 95% das respostas os mesmos inquiridos dizem acreditar que esse impacto se fará sentir com grande peso até 2030 [1].

Para mitigar este problema, é imprescindível que as empresas invistam na formação, com programas de aprendizagem e incentivos financeiros. Exemplo disso é a Mota-Engil, que investe nos operários oriundos dos Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa (PALOP), apostando na sua formação e desenvolvimento ainda nos seus países de origem e, só depois, os traz para Portugal como carpinteiros, pedreiros, etc. [7]. Assim, conseguem garantir que chegam a Portugal com as qualificações que lhes garantem os mesmos direitos e deveres.

2.2. A NECESSIDADE DE UMA MUDANÇA DE PARADIGMA

A preocupação com as medidas de sustentabilidade deixará de representar apenas metas e objetivos nas empresas, passando a ter um caráter obrigatório. Nesse sentido, preveem-se implementações de novas metas mais exigentes, impulsionadas pelas metas de sustentabilidade estabelecidas pela ONU, o que obrigará as empresas a se adaptarem e a mudarem os seus procedimentos [1].

Para além das questões da sustentabilidade, existem outros fatores, como o caso da crise habitacional em Portugal. Apesar da diminuição da população em Portugal entre 2012 e 2022, as mudanças na estrutura familiar e a concentração populacional em algumas áreas urbanas aumentam a procura por habitação. Mesmo com o aumento de número de fogos de habitação, a crise habitacional é evidente, o que destaca a necessidade de repensar a abordagem neste setor. É necessário o incentivo à mudança de métodos, assim como processos de licenciamento mais rápidos e eficientes de maneira a dar resposta aos problemas existentes [7].

Neste sentido, um outro estudo realizado pela *McKinsey & Company*, defende que existem 7 alicerces fundamentais para promover uma transformação do setor, como forma de dar resposta aos problemas identificados [8]:

1. Remodelar a regulamentação e aumentar a transparência;
2. Reformular o quadro contratual;
3. Repensar os processos de design e engenharia;
4. Melhor gestão dos aprovisionamentos e cadeia de abastecimento;
5. Execução eficaz no estaleiro de obra;
6. Implementação de tecnologia digital, novos materiais e automação;
7. Requalificação da mão de obra.

No decorrer deste trabalho será analisada a forma como a pré-fabricação pode ser uma forma de dar resposta a estas mudanças.

2.3. POTENCIAL PARA UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÕES PRÉ FABRICADAS

2.3.1. INTRODUÇÃO / CONCEITO DE PRÉ FABRICAÇÃO

O conceito da pré-fabricação consiste na produção de edifícios utilizando elementos, em partes ou até mesmo em soluções completas, contruídos totalmente em ambiente industrial e que posteriormente são transportados para o local da obra, já na sua dimensão final, chegando ao local prontos para apenas serem instalados (Figura 2).

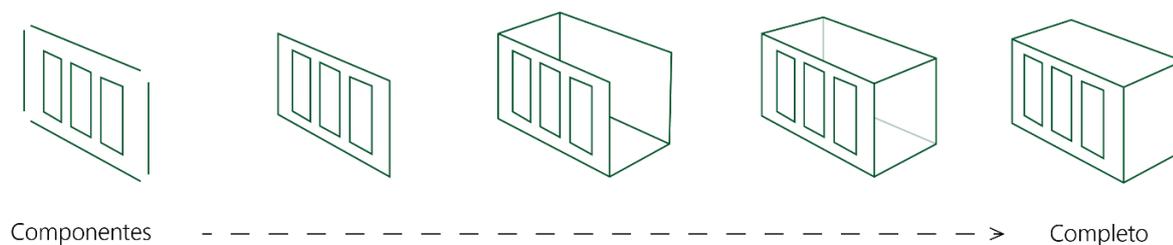


Figura 2 – Diferentes tipos de soluções de pré-fabricação [9]

A construção industrializada e pré-fabricada não é uma prática recente, há vários anos que se constrói com o recurso a componentes e painéis fabricados fora do local da obra. No entanto, nos últimos anos tem vindo a ganhar maior foco, com o objetivo de dar uma resposta mais eficiente aos problemas relativos à escassez de mão de obra qualificada e margens apertadas, já mencionadas anteriormente. Ainda que o recurso a esta técnica não seja uma prática desconhecida, alguns projetos inovadores mais recentes, com resultados interessantes e, com uma taxa mais elevada de componentes produzidos *off-site*, fizeram com que os promotores e construtores tentassem replicar algumas dessas técnicas utilizadas nos seus novos projetos. Este tipo de abordagem vem transformar a indústria e apresenta novos desafios e oportunidades, mas não podem deixar de ser também considerados os riscos adicionais que pode trazer [10].

Associado ao conceito de construção pré-fabricada, está o conceito de construção modular. O módulo representa uma unidade padrão, definida com o propósito de estabelecer relações de proporcionalidade entre os diferentes componentes. Surge, então, a modulação, uma técnica que tem como objetivo coordenar as dimensões dos elementos da construção de um edifício. O conceito de construção modular, surge assim, como a técnica que foi utilizada com recurso a elementos modulados, fazendo com que esse módulo estabeleça as dimensões dos diversos componentes do edifício, exemplificado na Figura 3. Por isso, frequentemente estes conceitos estão interligados, sendo a modularidade como uma amplificação dos benefícios da pré-fabricação, ao estabelecer uma abordagem mais eficiente na coordenação das dimensões dos elementos de um edifício.



Figura 3 - Fachada Modular [11]

Atualmente, o panorama da IC apresenta uma crescente variedade de soluções pré-fabricadas para edifícios, impulsionada pela procura de métodos mais eficientes, rápidos e económicos, fruto dos problemas enfrentados, já descritos anteriormente. Dentro desse contexto, destacam-se algumas das soluções mais comuns:

- Sistemas de fachadas (Figura 4);
- Pilares e vigas em betão (Figura 5);
- Estruturas metálicas;
- Casas de banho;
- Módulos e casas pré-fabricadas.



Figura 4 - Sistema de Fachada modular pré-fabricada [12]



Figura 5 - Vigas de Betão armado pré-fabricadas [13]

2.3.2. PRINCIPAIS VANTAGENS DA PRÉ FABRICAÇÃO

2.3.2.1. Redução de Prazos e Custos

O recurso a designs concebidos para serem produzidos em ambiente industrial permite que esse processo se repita e seja replicado em vários projetos, o que resulta em poupança de tempo em praticamente todas as fases do processo de construção, desde o planeamento até à instalação no local da obra. Esta padronização de processos contribui para uma maior eficiência, podendo reduzir o prazo dos projetos em até 50% [14]. Por outro lado, o facto de a maior parte do trabalho ser realizado *off-site*, implica uma redução significativa de mão de obra no local, contribuindo para uma progressão mais simples do cronograma.

Em alguns casos, nomeadamente aqueles em que a estrutura seja pré-fabricada, evita-se por completo o uso de cofragens, que representam um dos principais custos associados à estrutura de um edifício. Nesses mesmos casos, por a estrutura ser feita em ambiente industrial, as falhas a nível de segurança serão significativamente mais reduzidas, uma vez que a probabilidade de falha humana diminui significativamente [15].

A evidente redução de prazos inerente à construção pré-fabricada, na ótica do investidor que vai vender ou arrendar as propriedades, constitui também uma vantagem a nível financeiro, uma vez que permite começar a receber o retorno do investimento realizado mais cedo.

Ainda assim, é expectável que nem em todos os aspetos deste tipo de soluções sejam, a curto prazo, mais vantajosos. É esperado que os custos iniciais associados ao projeto sejam mais elevados, pela maior complexidade e necessidade de pormenorização. No entanto este acréscimo inicial dos custos pode ser compensado pela redução da necessidade de fazer alterações ao projeto. É esperado que estes custos associados à fase inicial do projeto possam progressivamente ser reduzidos devido à experiência acumulada ao longo dos anos, uma vez que se espera que este processo se torne mais célere evitando erros.

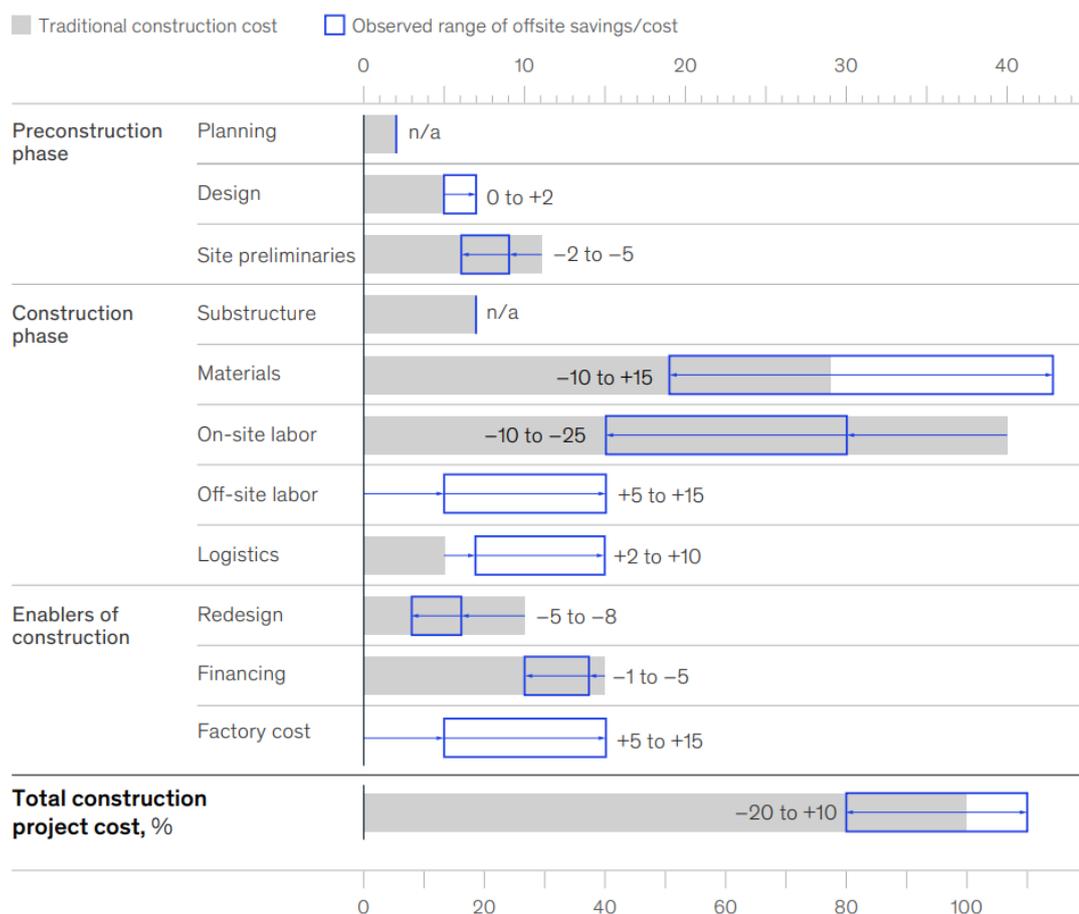


Figura 6 - Comparação de custos entre construção convencional e construção *off-site* [14]

É de realçar que, como sugere a Figura 6, nem sempre a adoção de soluções *off-site* se traduz numa redução de custos, existem ainda muitos fatores que condicionam o preço destas soluções. Dentro desses

fatores destacam-se, também na mesma Figura, os custos associados ao transporte e logística, devido à distância das fábricas ao local da obra, e também os custos associados ao investimento inicial feito nas fábricas e nas novas tecnologias necessárias. Tudo isto tem influência no custo de venda final das soluções, que poderão aumentar o custo do projeto de 5 a 15% [14]. Será ainda importante considerar que a oferta, ainda limitada, possa também impactar o custo final, principalmente em Portugal, onde apesar de ser cada vez maior, não consegue dar resposta à procura a preços competitivos para este tipo de soluções.

2.3.2.2. Melhor Controlo de Qualidade e Durabilidade

A padronização dos processos em fábrica consegue melhorar a qualidade de produção, garantindo uma maior precisão e consistência no produto final. Esta repetição das tarefas permite que os operários adquiram competências específicas nas tarefas que realizam. Existe ainda o contributo, cada vez mais presente, da robótica e da inteligência artificial, que promovem ainda mais a qualidade final do produto [10].

O controlo de qualidade é significativamente mais fácil e mais eficaz quando realizado num ambiente industrial. Na eventualidade de existir algum dano ou defeito, este pode ser corrigido com prontidão e relativa facilidade ainda em fábrica, o que evita trabalhos adicionais não previstos em obra, contribuindo desta maneira também para redução do tempo de execução [10].



Figura 7 - Pré-fabricação de casas de banho [16]

2.3.2.3. Sustentabilidade e Redução de Resíduos

A construção *off-site*, por ser realizada em ambientes controlados, implica uma utilização mais eficiente dos materiais e da energia, reduzindo assim a sua pegada carbónica no ciclo de vida do edifício. No fim da vida útil, existe também uma maior facilidade na desmontagem e reciclagem dos materiais utilizados, sendo esta uma medida que contribui para uma economia mais circular do setor e em particular deste tipo de soluções [17].

Há um grande potencial para estabelecer padrões que podem ser especialmente benéficos na construção de certos tipos de edifícios, como residências de estudantes, habitações de baixo custo, entre outros. Nestes casos, onde as exigências do cliente, ou do utilizador final, tendem a ser menos rigorosas, e onde não há problema em que os edifícios sejam esteticamente semelhantes ou tenham projetos idênticos, a padronização dos processos de construção pré-fabricada pode oferecer uma grande vantagem.

2.3.3. DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO

Embora seja cada vez mais comum, e pareça ser o caminho mais viável para enfrentar os problemas da indústria, a transição para a construção modular apresenta vários desafios significativos, em particular em relação aos custos e eficiência. Ainda que apresente benefícios evidentes na redução dos prazos de construção, a implementação inicial destas soluções tem vindo a exigir investimentos consideráveis em tecnologia, infraestruturas e formação das partes envolvidas. Esta mudança de processos requer um novo conjunto de *skills* e recursos, que poderão ser enormes desafios para as empresas [14].

A possível falta de experiência das equipas de montagem pode resultar em atrasos e imprevistos, principalmente se os componentes não vierem com as dimensões pretendidas. Assim, associada à possibilidade de poupanças a vários níveis, está também um risco acrescido na implementação destas soluções. Esta incerteza pode afetar o cronograma da obra. É preciso ainda ter em conta que, devido à simultaneidade entre a produção em ambiente industrial e a montagem em obra, qualquer defeito dos componentes aumenta a possibilidade de atraso no planeamento, uma vez que a demora de uma fase implica o atraso da seguinte [10]. É imperativo que a opção pela adoção destas soluções comece o mais cedo possível no projeto, para existir uma maior coordenação entre as equipas e intervenientes, de modo a minimizar todos os riscos.

Nos projetos em que se opte por soluções modulares é crucial o planeamento e coordenação da entrega dos elementos em obra, especialmente quando se trata de grandes elementos tridimensionais. É preciso também considerar que em certas localidades, devido a regulamentações de transporte que impõe limitações a nível de peso, tamanho e altura, pode haver um aumento do custo do projeto em até 10% [14]. Assim, o planeamento torna-se mais essencial e mais complexo do que num projeto de construção tradicional e a opção pela utilização deste tipo de soluções deve ser tomada em fases iniciais da conceção do projeto. Outros aspetos, como a capacidade e o tamanho do estaleiro, tornam-se centrais uma vez que, se não for pretendido ou não houver capacidade no estaleiro para o armazenamento dos componentes, os prazos de entrega e montagem terão de ser estabelecidos com bastante rigor e com bastante antecedência.

Muitas vezes, os proprietários pretendem um produto final único e, por isso, muitos projetos exigirão uma personalização elevada, quer pelas exigências do cliente para que o seu empreendimento melhore a experiência do utilizador final, mas também por condições específicas do local, regulamentações, entre outros. Embora a padronização e a modularidade sejam fundamentais para melhorar a eficiência e reduzir os custos, a procura por estes projetos arquitetónicos complexos e altamente personalizados pode limitar a aplicação de elementos pré-fabricados em certos segmentos de luxo. Historicamente, esta padronização resultou numa diminuição do interesse de compradores e promotores comerciais nesses segmentos. Atender a alguns destes requisitos pode ser particularmente difícil, uma vez que as opções de design disponíveis podem não se enquadrar na precisão que o proprietário pretende. Com isto, poderá surgir uma transformação na IC para uma abordagem mais baseada em produtos, começando as empresas de construção a criar uma biblioteca de projetos padronizados que poderá ser usado para um conjunto alargado de obras, influenciando assim os padrões do mercado. Neste contexto, as empresas enfrentam o desafio de adaptarem as suas equipas a projetar e construir neste novo cenário, onde a padronização e modularidade são essenciais, mas onde continua a existir a procura por projetos únicos e irrepetíveis [1], [10].

Para além disso, a perceção dos consumidores e da sociedade representa também um papel significativo, quando se fala nos desafios de implementação. Existem vários preconceitos sobre este tema, um dos mais comuns é de que os edifícios com elementos pré-fabricados serem menos seguros e duráveis em comparação com os edifícios com métodos tradicionais. Existem também preconceitos sobre a

flexibilidade dos projetos e a personalização, por se acreditar que as opções são muito limitadas e consequentemente os edifícios são esteticamente pouco atraentes e todos iguais. Muitas vezes, estes edifícios são vistos como uma escolha de segunda classe ou solução temporária [18]. No entanto, estes factos não correspondem claramente à realidade.

Por isso, existe uma gama de edifícios que sendo construídos com recurso à construção modular, são mais propensos a serem bem aceites pelos utilizadores, nomeadamente espaços comerciais e de escritórios, hotéis, ginásios, entre outros. Para além destes edifícios poderem ser bastantes repetidos e não requerem grandes personalizações, não representam para os utilizadores destes espaços, na grande maioria das vezes, um investimento ou grande esforço financeiro, o preconceito e medo em relação à possível falta de qualidade acabam por não se tornar tão relevantes como se estivéssemos a falar de uma habitação própria.

É necessário por isso, existir alguma pedagogia por parte dos promotores e construtores, sobre os avanços tecnológicos e benefícios ambientais, funcionais e económicos das construções pré-fabricadas, promovendo uma maior consciencialização e informação da sociedade.

3

UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÕES EM ESTRUTURA METÁLICA

3.1. INTRODUÇÃO

O aço é um material composto por uma liga metálica de ferro com cerca de 2% de carbono e 1% de manganês, que surge da purificação do minério de ferro ao qual é combinado aço reciclado, e que se tem vindo a tornar essencial para a criação de cidades, máquinas, automóveis, entre muitas outras funcionalidades [19].

É um dos materiais mais utilizados na construção civil, sobretudo pela sua grande durabilidade e resistência. Devido à sua enorme versatilidade, desempenha um papel fundamental na construção, com inúmeras utilizações, sendo algumas das mais comuns:

- Carris;
- Perfis estruturais;
- Varões/armaduras;
- Perfis leves (não estruturais);
- Revestimentos e fachadas;
- Cabos pré-esforçados.

A produção bruta de aço em milhões de toneladas de 2002 a 2022, praticamente duplicou, tendo sido produzidas em 2022 1885 milhões de toneladas, sendo os 3 países mais produtores, a China, a Índia e o Japão [19].

No que diz respeito à comparação entre aço e betão, uma das variantes mais consideradas no caso de a comparação ser para soluções estruturais, é o custo direto da aquisição dos materiais. Na grande maioria dos casos, o custo de uma solução estrutural metálica é mais caro que uma solução em betão armado. Outros fatores acabam por não ser devidamente analisados, como por exemplo a redução do prazo de realização da obra, que por si só reflete um corte indireto em alguns custos associados à obra.

Neste capítulo, será realizada uma análise mais detalhada de alguns dos fatores que podem influenciar de forma significativa a escolha entre estruturas de aço ou betão armado. Pretende-se explorar esses elementos de modo a determinar as suas principais vantagens em determinados contextos, bem como as situações em que o cenário é desvantajoso para, nos seguintes capítulos, poder ser analisado de forma mais fundamentada, o caso de estudo em questão.

3.2. MÉTODOS DE PRODUÇÃO

Existem, essencialmente, dois métodos diferentes para a produção de aço:

- (BF-BOF) *blast furnace-basic oxygen furnace* (alto forno/forno básico a oxigénio)
- (EAF) *electric arc furnace* (forno de arco elétrico)

A principal diferença entre os dois métodos está nas matérias-primas que cada um consome. No alto forno, o minério de ferro, aço e carvão são os recursos mais utilizados, enquanto no forno elétrico, o aço reciclado proveniente da sucata é utilizado como a principal fonte de matéria-prima e usa a eletricidade como fonte de energia [20].

O método que recorre ao alto forno representa cerca de 70% da totalidade da produção de aço. O processo baseia-se na redução do minério de ferro em altos fornos, utilizando o carbono como catalisador para formar ferro-gusa. No forno elétrico, que apresenta os restantes 30% da produção, o aço proveniente da sucata é a principal matéria-prima, fundida em fornos elétricos com recurso a elétrodos de grafite, onde podem também ser utilizados aditivos para ajustar a composição química do aço resultante [20].

A distribuição do uso destes dois métodos por áreas geográficas, com base num documento publicado em 2022, bem como a sua produção em milhões de toneladas, surgem representados na Figura 8.

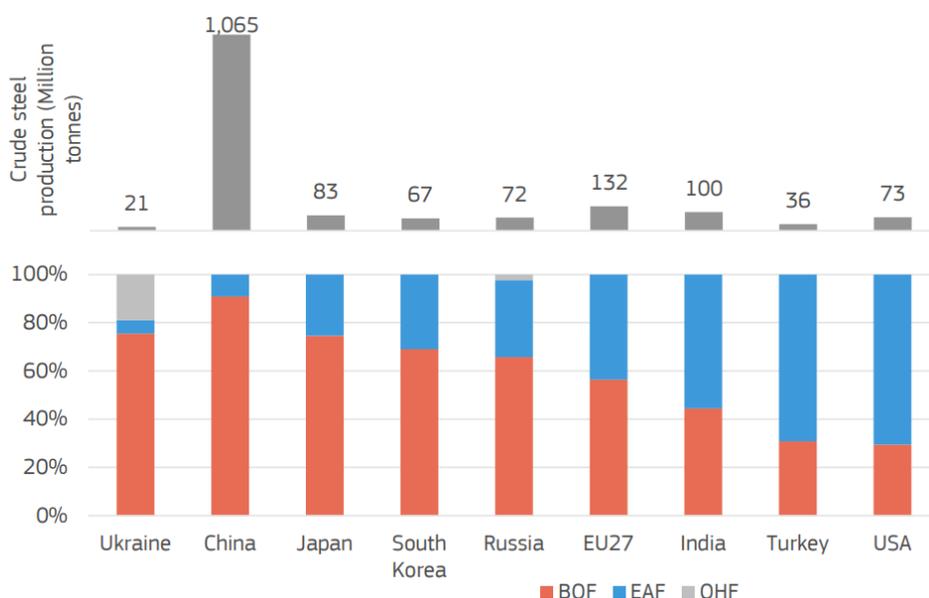


Figura 8 – Produção de aço em milhões de toneladas e percentagem do método de produção em diferentes regiões [21]

Relativamente à utilização destes dois métodos, a Figura 9 torna evidente uma menor proporção do uso do método BOF na Península Ibérica relativamente aos valores de outros países. Em Portugal apenas existe a produção de aço pelo método EAF. Como será analisado mais a frente neste capítulo, o método BOF é consideravelmente mais poluente e a União Europeia tem feito grandes esforços e estabelecido algumas metas exigentes com o intuito de reduzir as emissões de dióxido de carbono.

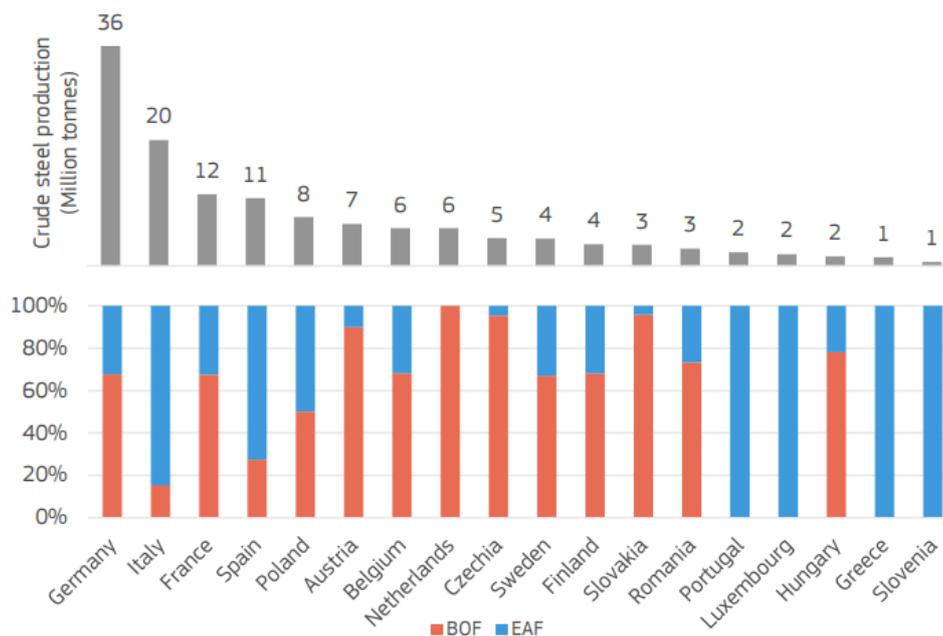


Figura 9 – Produção de toneladas de aço por método e por diferentes países da União Europeia [21]

Focando nos perfis estruturais (que são o foco deste trabalho), na construção civil são utilizados diferentes tipos de perfis, com secções transversais específicas, variando em tamanho e forma, como está representado na Figura 10. As dimensões dos diferentes perfis frequentemente vêm tabeladas nos catálogos dos fornecedores, com tamanhos e referências padronizadas segundo as Normas Europeias, que estabelecem as tolerâncias de forma e as dimensões. Dentro dos perfis existentes, alguns dos mais comuns agrupam-se por famílias de acordo com a sua geometria:

- Perfis “I” (IPN e IPE)

Caracterizam-se por terem a forma em “I” e onde a alma é mais larga que as abas. São normalmente usados para vigas e pilares de estruturas com cargas e vãos médios.

- Perfis “H” (HEA, HEB e HEM)

Caracterizam-se por terem a forma em “H”, em que a alma é também maior que as abas, mas em que estas são mais grossas comparativamente com os perfis “I”. Possuem proporções mais equilibradas entre a alma e as abas, proporcionando uma resistência uniforme à flexão e compressão. São utilizados em estruturas que exigem uma maior capacidade de carga e rigidez estrutural.

- Perfis “U” (UPN e UPE)

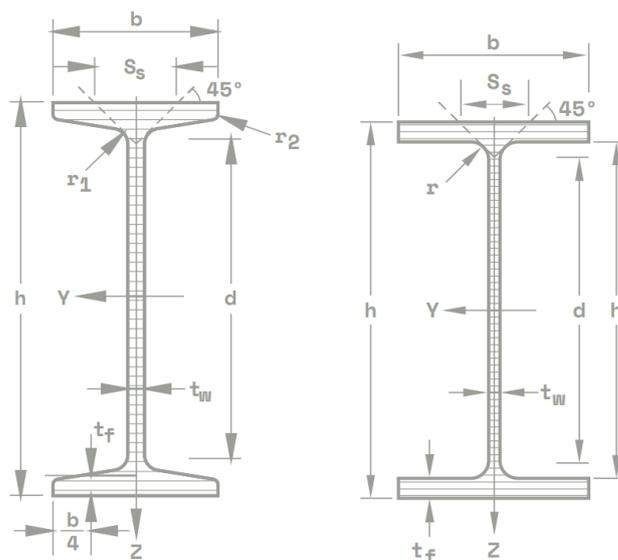


Figura 10 – Secção transversal de perfis IPN e HEB, respetivamente [22]

A seleção dos perfis é um passo essencial para garantir a segurança e estabilidade das estruturas. Naturalmente, cada projeto apresenta características únicas que exigem soluções pormenorizadas. Para isso, terão de ser escolhidos os perfis metálicos considerando as suas propriedades geométricas, comportamento mecânico e adequação à carga e vãos das estruturas. A Figura 11 apresenta um quadro ilustrativo das diferentes dimensões que pode ter o mesmo perfil transversal.

Designação	Dimensões						Dimensões para estruturas						Superfície	
	G (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	r (mm)	A (cm ²)	h ₁ (mm)	d (mm)	Ø	P _{min} (mm)	P _{max} (mm)	A ₁ (m ² /m)	A ₂ (m ² /t)
HEB 100	20.4	100	100	6	10	12	26.04	80	56	M10	56	58	0.567	27.76
HEB 120	26.7	120	120	6.5	11	12	34.01	98	74	M12	60	68	0.686	25.71
HEB 140	33.7	140	140	7	12	12	42.96	116	92	M16	66	76	0.805	23.88
HEB 160	42.6	160	160	8	13	15	54.25	134	104	M20	80	84	0.918	21.56
HEB 180	51.2	180	180	8.5	14	15	65.25	152	122	M24	88	92	1.037	20.25
HEB 200	61.3	200	200	9	15	18	78.08	170	134	M27	100	100	1.151	18.78
HEB 220	71.5	220	220	9.5	16	18	91.04	188	152	M27	100	118	1.270	17.77
HEB 240	83.2	240	240	10	17	21	106.0	206	164	M27	108	138	1.384	16.63
HEB 260	93.0	260	260	10	17.5	24	118.4	225	177	M27	114	158	1.499	16.12
HEB 280	103	280	280	10.5	18	24	131.4	244	196	M27	114	178	1.618	15.69
HEB 300	117	300	300	11	19	27	149.1	262	208	M27	120	198	1.732	14.80
HEB 320	127	320	300	11.5	20.5	27	161.3	279	225	M27	122	198	1.771	13.98
HEB 340	134	340	300	12	21.5	27	170.9	297	243	M27	122	198	1.810	13.49
HEB 360	142	360	300	12.5	22.5	27	180.6	315	261	M27	122	198	1.849	13.04
HEB 400	155	400	300	13.5	24	27	197.8	352	298	M27	124	198	1.927	12.41
HEB 450	171	450	300	14	26	27	218.0	398	344	M27	124	198	2.026	11.84
HEB 500	187	500	300	14.5	28	27	238.6	444	390	M27	124	198	2.125	11.34
HEB 550	199	550	300	15	29	27	254.1	492	438	M27	124	198	2.224	11.15
HEB 600	212	600	300	15.5	30	27	270.0	540	486	M27	126	198	2.323	10.96
HEB 650	225	650	300	16	31	27	286.3	588	534	M27	126	198	2.422	10.77
HEB 700	241	700	300	17	32	27	306.4	636	582	M27	126	198	2.520	10.48
HEB 800	262	800	300	17.5	33	30	334.3	734	674	M27	134	198	2.713	10.34
HEB 900	291	900	300	18.5	35	30	71.32	830	770	M27	134	198	2.911	9.990
HEB 1000	314	1000	300	19	36	30	400.0	928	868	M27	134	198	3.110	9.905

Figura 11 – Tabela de catálogo de perfis estruturais [22]

3.3. PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS E RESPATIVAS SOLUÇÕES

3.3.1. RESISTÊNCIA AO FOGO

Anualmente ocorrem cerca de 8 milhões de incêndios, que resultam na morte de aproximadamente 90.000 pessoas. Cerca de 51% desses incêndios ocorrem em edifícios, estruturas e meios de transporte, sendo responsáveis pela maioria das vítimas de incêndios (90-95%). Curiosamente, em Portugal, assim como em Barbados e na Polónia, os incêndios em edifícios e transportes representam menos de 22% do total de incêndios [23].

Quando submetido a altas temperaturas, o aço reduz significativamente as suas propriedades mecânicas. À medida que a temperatura aumenta, a resistência diminui, assim como o módulo de elasticidade. Por exemplo, entre os 500 °C e 525 °C, o aço apresenta aproximadamente 50% da sua resistência e rigidez em comparação com as condições ambiente, e a cerca de 600° C essa retenção cai para cerca de 20%. Para temperaturas mais elevadas que estas, quase toda a resistência do aço é perdida. Esta rápida degradação é causada pela alta condutividade térmica e pelo baixo calor específico do aço, que levam a uma perda rápida de capacidade de carga em condições de incêndio.

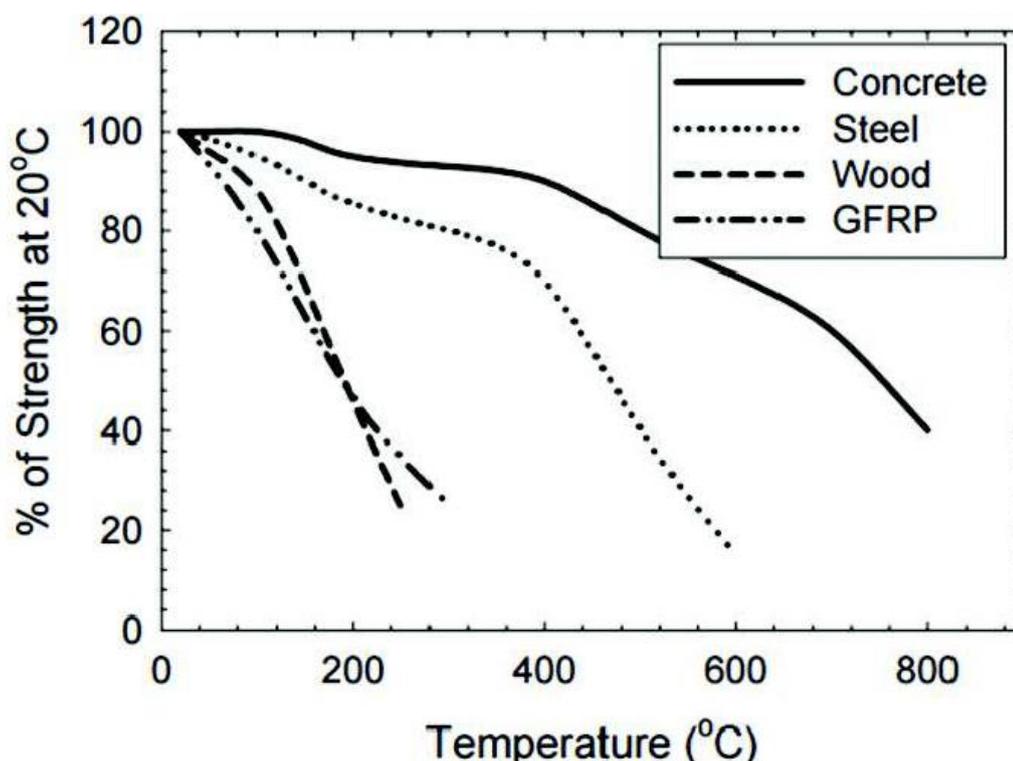


Figura 12 - Curva Resistência-Temperatura para diferentes materiais [24]

A resistência ao fogo é utilizada para definir o desempenho dos elementos que constituem a estrutura de um edifício em situações de exposição ao fogo. Assim sendo, a resistência ao fogo pode ser definida como o período durante o qual os elementos de uma estrutura desempenham satisfatoriamente as suas exigências funcionais definidas no projeto [25]. Nestas exigências funcionais podem estar requisitos como resistência estrutural, limitação de criação de fumo e a capacidade de conseguir garantir a não propagação do fogo para outros compartimentos.

O comportamento das estruturas de aço, quando submetidas ao fogo e a temperaturas muito elevadas, representa uma das principais desvantagens deste tipo de solução, em comparação com uma solução em betão armado. Por isso, para a proteção das estruturas de aço, e de modo a obter um melhor desempenho no que se refere ao comportamento ao fogo, podem e devem ser usados tanto métodos ativos como passivos.

Um dos métodos ativos mais utilizados é a aplicação de revestimentos intumescentes. Este método consiste na aplicação de uma camada até 4 mm, numa só aplicação, idêntica a uma tinta de alta espessura, o que faz atrasar o aumento da temperatura crítica do aço sob a ação do fogo [26]. Quando expostas a temperaturas elevadas, as tintas intumescentes expandem, criando assim uma barreira mais eficaz à temperatura. A sua utilização mais comum é precisamente para proteção de estruturas metálicas. No entanto, podem também ser usadas em condutas, janelas e outras tipo de juntas onde se queira evitar a propagação do fogo. Permitem uma maior articulação da arquitetura com os requisitos de estabilidade de segurança contra incêndios [27].

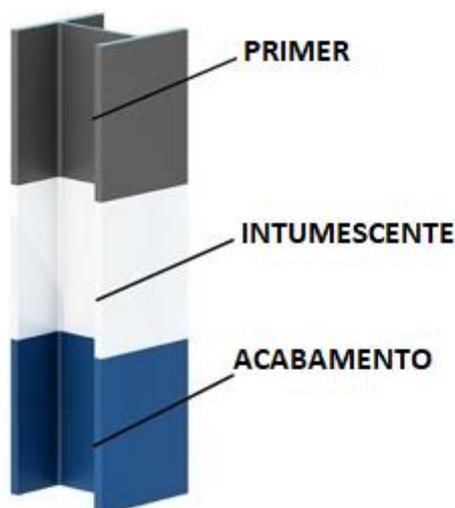


Figura 13 - Esquema de possível solução de camadas num perfil metálico [28]

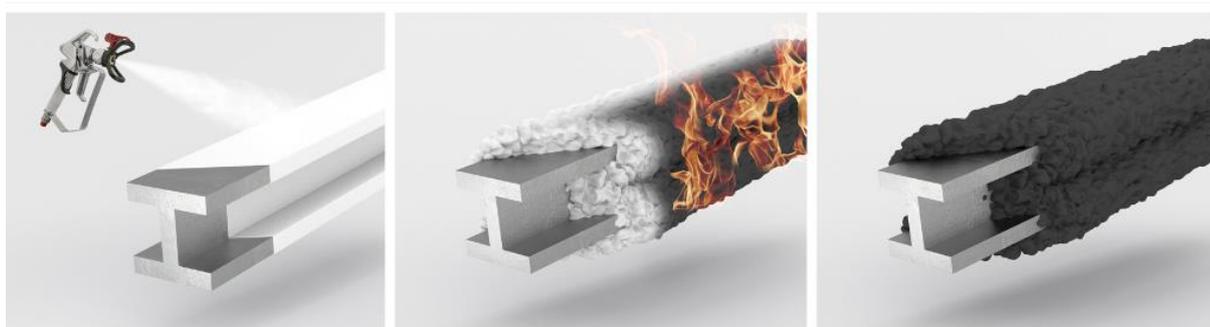


Figura 14 - Simulação de comportamento de tinta intumescente quando submetido ao fogo [29]

Um método de proteção contra o fogo alternativo é a utilização de placas de gesso cartonado, mais conhecidas como pladur. As placas são instaladas sobre os perfis de aço, criando uma barreira protetora ao redor da estrutura. Existem vários tipos de placas de gesso cartonado, cada uma com características diferentes e específicas para diferentes níveis de proteção. Por exemplo, as placas do tipo X têm núcleos especialmente formulados para oferecer maior resistência ao fogo, em comparação com as placas comuns, de modo a garantir uma proteção mais eficaz e prolongada da integridade estrutural em situações de incêndio [27].



Figura 15 - Esquema de funcionamento de proteção contra o fogo com placas de gesso cartonado [30]

Um terceiro método ativo alternativamente utilizado é a projeção de argamassas sobre os elementos estruturais. São argamassas compostas por inertes leves, ligantes hidráulicos, controladores de presa e aditivos para melhorar a projeção. A aplicação pode ser feita em várias camadas, até se atingir a espessura pretendida. Estas argamassas permitem conferir à estrutura classes de resistência de R15 a R240 [31].

Passando aos métodos passivos, um dos mais usados no combate a incêndios é a utilização dos sistemas de *sprinklers*, muito utilizados em edifícios de maior dimensão ou com taxas de ocupação elevadas. Este sistema representa um método eficaz de combate automático de incêndios, sendo ativado por sensores de temperatura. O seu principal objetivo é controlar e extinguir o incêndio na sua fase inicial, de modo a minimizar danos no património e a segurança dos ocupantes. Quando a temperatura numa certa área atinge um determinado valor que pode indicar a deflagração de um incêndio, o sistema de sensores ativa automaticamente a rede de *sprinklers*, que liberta água diretamente sobre a zona onde foi detetado o incêndio.

No contexto da legislação portuguesa, nomeadamente no Regulamento de Segurança Contra Incêndios de Edifícios (RSCE), a instalação de sistemas de *sprinklers* é obrigatória para edifícios a partir de uma determinada taxa de ocupação, como alguns estabelecimentos comerciais e escritórios, por exemplo, ou com elevado risco de incêndio, como fábricas ou armazéns.

Um estudo realizado com dados dos incêndios que ocorreram em 2007 nos Estados Unidos, estimou que se 10% de todas as habitações unifamiliares naquele ano tivessem instalados sistemas de *sprinklers*, poderiam ter sido evitadas 194 mortes de civis, 567 lesões de civis e 735 lesões de bombeiros [32].

3.3.2. RESISTÊNCIA/COMPORTEAMENTO ESTRUTURAL

Comparativamente com as estruturas de betão armado, as estruturas em aço são consideravelmente mais leves, podendo pesar cerca de seis vezes menos, se não forem consideradas as lajes. A redução desse peso estrutural implica uma diminuição das cargas verticais que vão ser transmitidas às fundações. Assim sendo, existe também a possibilidade de uma redução significativa na capacidade de carga das fundações, que faz com que sejam possíveis reduções de tamanho e conseqüentemente de custos e materiais.

Além disso, o aço tem uma relação resistência-peso extremamente alta, o que significa que, sendo mais leve, permite vencer vãos maiores. Esta característica é especialmente valiosa do ponto de vista arquitetónico, na criação de espaços amplos, como aeroportos, estádios e edifícios industriais. É também devido à sua leveza que é a solução mais utilizada em edifícios de grande altura.

As ligações entre os perfis são feitas com recurso a parafusos ou porcas. Este sistema permite também uma maior facilidade de desmontagem no futuro. A dimensão dos parafusos pode variar em função da necessidade de cada projeto.

As juntas e ligações representam uma das partes mais delicadas das estruturas metálicas, e são cruciais para a estabilidade e integridade da construção e do edifício. Problemas nas ligações com os parafusos, podem resultar em deformações excessivas da estrutura e na redução da capacidade de carga.

Apesar de tudo, no caso de edifícios de habitação de média dimensão, os problemas associados às juntas não serão tão complexos como noutras estruturas mais elaboradas, como é o caso de arranha-céus, pontes, coberturas de grandes vãos e outras infraestruturas, como por exemplo aeroportos.

É importante que sejam devidamente dimensionadas e que, haja um enorme cuidado durante a fase de montagem, uma vez que são uma das principais fragilidades deste tipo de estruturas e a manutenção durante a vida útil não é uma tarefa fácil.

Embora as estruturas metálicas apresentem vantagens em termos de rapidez, flexibilidade e otimização de vão livre, a combinação com elementos em betão armado é imprescindível, nomeadamente para fundações, enchimento das lajes e núcleos de escadas e elevadores. As fundações requerem resistência à compressão e moldagem *in loco*, que só o betão consegue oferecer.

Numa ótica funcional, a combinação destes dois materiais permite uma otimização e uma melhor resposta às características e exigências do projeto. De um ponto de vista económico é importante considerar os custos individuais de cada material, mão de obra e prazos de execução, de modo a procurar o melhor equilíbrio entre o investimento inicial e os custos de manutenção a longo prazo.

Para a execução das lajes uma das soluções mais utilizadas em edifícios de estrutura metálica, são as lajes colaborantes (*Steel Composite Decks*), que consistem na aplicação de uma chapa metálica sobre as vigas de aço. Esta serve de molde para o betão enquanto está fresco e funciona como cofragem não recuperável e também contribui ativamente para a resistência da laje. A ação dos dois materiais combinados, funciona como reforço à tração para a existência de momentos fletores positivos na laje, que resulta na diminuição da necessidade de varões de aço na laje [33].

A chapa funciona como uma forma, e é concebida de maneira a evitar o escoramento, exceto em situações específicas onde se pretenda vencer vãos maiores [33].

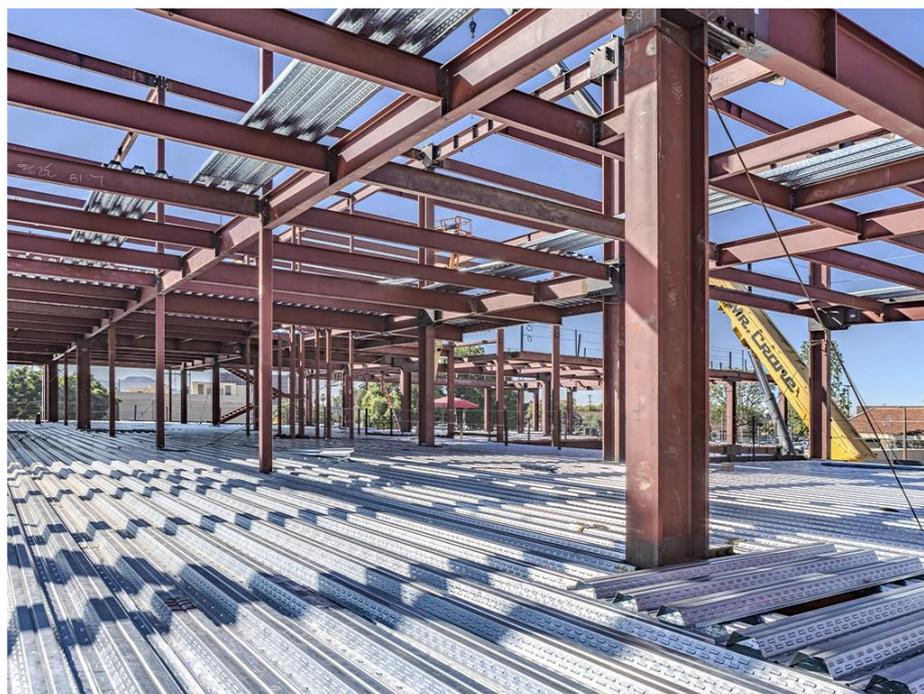


Figura 16 - Estrutura Metálica com chapa colaborante [34]

As saliências nas chapas metálicas apresentam algumas vantagens para o processo construtivo e solidez da solução, sendo a principal a melhoria da aderência entre o betão e o aço, mas também o aumento de resistência ao deslizamento, funcionando como uma espécie de ancoragens (Figura 17). O aumento da superfície de contacto entre os dois materiais resulta também numa melhor distribuição das cargas do betão para a chapa, podendo ajudar a prevenir fissuras.

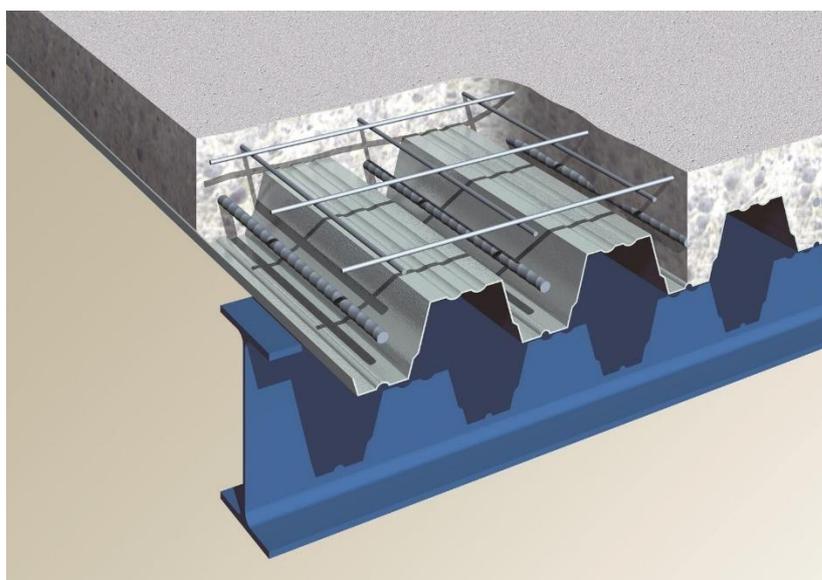


Figura 17 - Esquema da tecnologia de uma laje colaborante [35]

Para além da sua eficiência e facilidade de montagem, as lajes colaborantes conseguem ainda ter um desempenho satisfatório de isolamento acústico e resistência ao fogo.

Assim como nos perfis estruturais, existem vários tipos de secções transversais, com comportamentos estruturais diferentes, que podem ser utilizados consoante as exigências e necessidades do projeto.

3.3.3. COMPORTAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO

Uma das principais preocupações atuais da IC é a procura de soluções que reduzam significativamente o consumo de energia dos edifícios. Nesse sentido, os sistemas mecânicos, elétricos e ganhos pelos vãos envidraçados recebem a maior parte dessa atenção. No entanto, uma parte importante que por vezes é negligenciada é o comportamento térmico da estrutura. Tratando-se de uma estrutura de aço, as pontes térmicas representam um desafio significativo.

O parâmetro usado para expressar o desempenho térmico de um elemento de construção é o U (coeficiente de transmissão térmica), expresso em $W/(m^2\text{°C})$, que mede o fluxo de calor sobre um material. Valores de “ U ” baixos significam grandes níveis de resistência térmica e vice-versa.

As pontes térmicas ocorrem quando materiais com alta condutividade térmica atravessam a camada de isolamento, ou nas junções entre elementos construtivos onde há uma interrupção no isolamento. Resultam em perdas de calor em áreas específicas, aumentando a necessidade de energia para manter a temperatura interna do edifício e diminuindo as temperaturas das superfícies internas próximas às pontes térmicas. O aço tem uma condutividade térmica elevada em comparação com muitos outros materiais de construção, e por isso mais favorável ao fenómeno das pontes térmicas. A elevada condutividade térmica significa que os sistemas de construção em aço, tanto a estrutura como o revestimento, devem ser cuidadosamente concebidos para minimizar os fluxos de calor indesejados.

Minimizar as pontes térmicas em estruturas de aço é essencial para garantir uma melhor eficiência energética dos edifícios. Uma abordagem a ter em consideração é garantir que os elementos de aço estejam totalmente dentro da envolvente do edifício, sem elementos visíveis. Não sendo possível, é fundamental isolar localmente os elementos que penetrem a fachada do edifício, como por exemplo suportes de varandas, para minimizar as transferências de calor.

Relativamente ao conforto acústico, primeiro é necessário entender o comportamento e propagação do som. O som é produzido através de vibrações que geram ondas sonoras, enquanto o ruído está associado a um som indesejado ou perturbador, que pode afetar o conforto acústico dos ocupantes de um edifício. A frequência do som está relacionada com a sua tonalidade, sendo expressa em Hertz (HZ). O nível de pressão sonora é uma medida da intensidade do som, expressa em decibéis (dB), que é importante para classificar o impacto do ruído num determinado ambiente. A propagação do som acontece por meio de ondas sonoras que se movem através de um meio, como o ar ou materiais sólidos, podendo essa propagação ser afetada por obstáculos e características dos locais.

A fala normal situa-se entre 54 dB e 75 dB, dependendo do volume e distância da fonte. No caso de se tratar de grandes grupos de pessoas, os níveis de intensidade sonora podem superar os 85 dB, como em festas ou restaurantes. Já a música não amplificada varia entre 90 e 95 dBA, enquanto a música amplificada pode ultrapassar 110 dBA [36].

Os sons transmitidos por vibração, como passos, variam a sua intensidade de acordo com o peso da pessoa, tipo de calçado e a própria construção do piso do edifício. Os sons emitidos por passos normais podem atingir cerca de 50 dBA nas divisões abaixo. O ruído da chuva a bater em telhados pode também ter níveis de intensidade sonora que oscila entre os 40 e 80 dBA. Também o ruído dos equipamentos mecânicos, como AVAC, pode ter um impacto significativo, que normalmente é estimado pelo fabricante [36].

As estruturas metálicas podem transmitir tanto o som aéreo como o de percussão, podendo o som ser emitido a partir de fontes localizadas, como as descritas em cima, ou através da vibração de elementos como pisos e paredes. Devido à sua menor massa e maior rigidez, podem ser mais suscetíveis à transmissão de som. A eficiência da atenuação do som nas estruturas metálicas é influenciada por fatores como a massa e a rigidez dos materiais, determinando o comportamento acústico nas construções. Com isto, o desempenho acústico não é determinado apenas pelo comportamento da estrutura, mas sim pela correta seleção e montagem dos restantes elementos construtivos.

3.3.4. CORROSÃO

A corrosão é uma reação química que ocorre entre o aço e ambiente onde se encontra, que resulta na deterioração do material e das suas propriedades. Para que a corrosão ocorra é necessário existir simultaneamente a presença de água e oxigénio.

A velocidade da corrosão depende de vários fatores do ambiente à volta da estrutura, principalmente da presença de humidade e da poluição atmosférica. A norma EN ISO 12944-2 classifica os ambientes atmosféricos em seis categorias de corrosividade, onde apresenta as taxas de corrosão prováveis para o aço, apresentadas em baixo na Tabela 1.

Associadas à corrosão estão algumas consequências que podem comprometer a integridade e funcionalidade das estruturas. Uma das principais, é a perda gradual de massa e espessura, que comprometem a capacidade de carga. Estas deformações e perdas de funções, além de comprometerem o correto funcionamento da estrutura, implicam uma redução significativa da vida útil, e também custos extras com manutenção e reabilitação dos componentes que, por se tratar de uma estrutura de aço, representa uma tarefa particularmente exigente.

Para além dos impactos estruturais, a corrosão tem também implicações estéticas, como manchas de ferrugem, que formam camadas volumosas na superfície do aço e podem ser responsáveis pela desintegração de pinturas e revestimentos.

De destacar ainda que, no caso das estruturas de edifícios de habitação, a deteção destes fenómenos é particularmente desafiante, devido a dificuldade de acesso e visualização dos elementos, ao contrário de por exemplo pontes e viadutos, onde a estrutura está exposta.

Tabela 1 - Categorias de corrosividade atmosférica [37]

Categoria de Corrosividade	Perda de espessura após um ano	Exemplos de ambientes típicos (informativo)	
	(mm)	Exterior	Interior
C1 Muito baixa	0,0013	-	Edificações aquecidas com atmosferas limpas (p, ex., escritórios, lojas, escolas, hotéis)
C2 Baixa	0,0013 a 0,025	Atmosferas com baixo nível de poluição. A maior parte das áreas rurais	Edificações sem aquecimento, onde a condensação é possível (armazéns, ginásios cobertos, etc.)
C3 Média	0,025 a 0,05	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada por dióxido de enxofre. Áreas costeiras de baixa salinidade	Ambientes industriais com alta humidade e alguma poluição atmosférica (lavandarias, cervejarias, etc.)
C4 Alta	0,05 a 0,08	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada	Indústrias químicas, piscinas, etc.
C5 – I Muito alta Industrial	0,08 a 0,2	Áreas industriais com alta humidade e atmosfera agressiva	Edificações ou áreas com condensação quase permanente e com alta poluição
C5 – M Muito alta marítima	0,08 a 0,2	Áreas costeiras e offshore com alta salinidade	Edificações ou áreas com condensação quase permanente e com alta poluição

Antes da aplicação de qualquer revestimento, é fundamental a preparação da superfície. É vista como o fator mais determinante no sucesso total de um sistema de proteção anticorrosiva. O desempenho de um revestimento está diretamente ligado à sua aderência ao substrato. O estado inicial da superfície de um perfil de aço, com óxido de laminação e ferrugem, normalmente não é adequado para a aplicação dos revestimentos. A limpeza com recurso a um jato abrasivo é o método mais eficaz para preparar as superfícies, removendo completamente a carepa e a ferrugem [37].

Após a limpeza da superfície, uma das opções é a aplicação de revestimentos de tinta, que são compostos por um pigmento disperso num ligante e dissolvido num solvente. O processo envolve a aplicação sequencial de várias camadas de tinta, geralmente uma camada de primário, camadas intermédias e a camada de acabamento, que pode ser realizada ainda em fábrica ou posteriormente no local da obra. O método de aplicação das camadas de tinta influencia significativamente a qualidade e durabilidade do revestimento. Os métodos utilizados de aplicação incluem pincel, rolo, pulverização a ar e pulverização sem ar, sendo esta última a mais comum quando se trata de tintas em aço estrutural [37].

Uma outra alternativa é aplicação de revestimentos metálicos que envolvem a aplicação de uma camada de metal protetora na superfície da estrutura, que atua como uma barreira física que impede a exposição do aço ao ambiente corrosivo.

Existem essencialmente dois métodos:

- Galvanização a quente

A galvanização a quente é um processo que envolve a imersão do perfil de aço num banho de zinco fundido (a cerca de 450 °C). Depois da solidificação do zinco, os elementos adquirem um brilho metálico cristalino. A espessura do revestimento galvanizado depende de vários fatores, como o tamanho e espessura da peça e composição química do material.

Por ser um processo de imersão, existem limitações no tamanho dos componentes que podem ser galvanizados. No caso de os perfis excederem o tamanho do tanque poderá ser utilizada uma técnica de “dupla imersão”. Atualmente, o maior tanque no Reino Unido tem 21 metros de comprimento, a dimensão máxima para a dupla imersão é de 28 metros e o peso máximo de elevação 16 toneladas [37].

- Pulverização térmica

Os revestimentos por pulverização térmica de zinco, alumínio e ligas zinco-alumínio oferecem proteção contra corrosão a longo prazo para estruturas de aço expostas a ambientes mais agressivos. São recorrentemente usados em diferentes componentes de pontes.

O metal, em forma de pó, é alimentado através de uma pistola que contém uma fonte de calor. A adesão dos revestimentos de metal pulverizado é considerada essencialmente mecânica, não ocorrendo qualquer ligação. Por isso, é necessário aplicar o revestimento numa superfície limpa e rugosa, onde a limpeza por jato é normalmente um pré-requisito [37].

3.4. SUSTENTABILIDADE E IMPACTO AMBIENTAL

3.4.1. POLUIÇÃO E EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A produção de aço contribui com aproximadamente 5% do total das emissões de CO₂ na União Europeia e 7% a nível global. Há por isso uma grande necessidade de se desenvolver novas tecnologias, com emissões de CO₂ significativamente mais baixas, para a indústria se alinhar com as metas climáticas estabelecidas pela União Europeia [38].

Além de serem das indústrias que mais consomem energia, a fabricação de ferro e aço também envolve o processamento de matérias-primas que normalmente contêm metais pesados e causam emissões de poeira. Além disso, a sua forte dependência dos combustíveis fósseis (especialmente do carvão) como fonte primária de energia faz com que a produção de ferro e aço seja uma das principais indústrias poluidoras do ar. Na Figura 18, que representa o consumo de energia das indústrias de produção de aço e cimento, torna-se claro que a proporção que o consumo de carvão tem relativamente às restantes matérias-primas, principalmente na produção de aço, em que é quase 3 vezes superior à soma de todas as outras. As emissões provenientes do consumo de carvão, isoladamente, na produção de aço são mais de duas vezes superiores à de toda a indústria de produção de cimento.

A unidade de medição utilizada, MTOE (*mega tonnes of oil equivalent*), que em português se lê tonelada equivalente de petróleo, é uma unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru. Uma tonelada equivalente de petróleo corresponde a cerca de 42 giga joules.

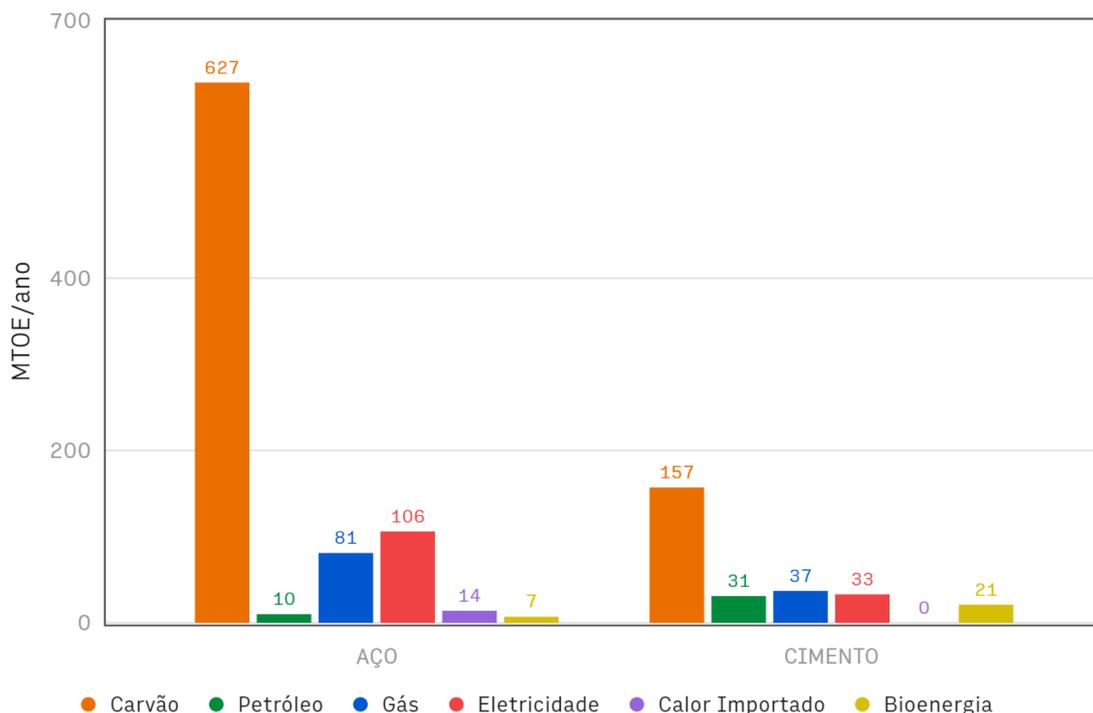


Figura 18 - Consumo Final de Energia das Indústrias de Produção de Aço e Cimento [20]

As emissões de CO₂ na produção de aço são também influenciadas pelos métodos de produção e matéria-prima utilizada. Como já foi referido anteriormente, no ponto 3.1 deste capítulo, o uso de aço reciclado proveniente da sucata afeta diretamente a intensidade das emissões de CO₂, contribuindo para as reduzir significativamente, uma vez que a necessidade de produção de metal criado através de alto forno, reduz-se por tonelada de aço produzida [21].

Com base na análise da Figura 19, que compara a intensidade de CO₂ por país, verifica-se que a Turquia e os Estados Unidos têm uma menor intensidade de emissões devido a uma maior utilização do método EAF, que tem um peso de cerca de 70 % do total da produção nesses países. Na União Europeia, os valores de emissões mais elevados, justificam-se pelo facto de haver uma maior igualdade entre a percentagem de produção pelos diferentes métodos. O caso mais grave é a Índia, que apresenta os valores de emissões mais elevados, apesar de não ser a região onde se usam predominantemente os métodos mais poluentes.

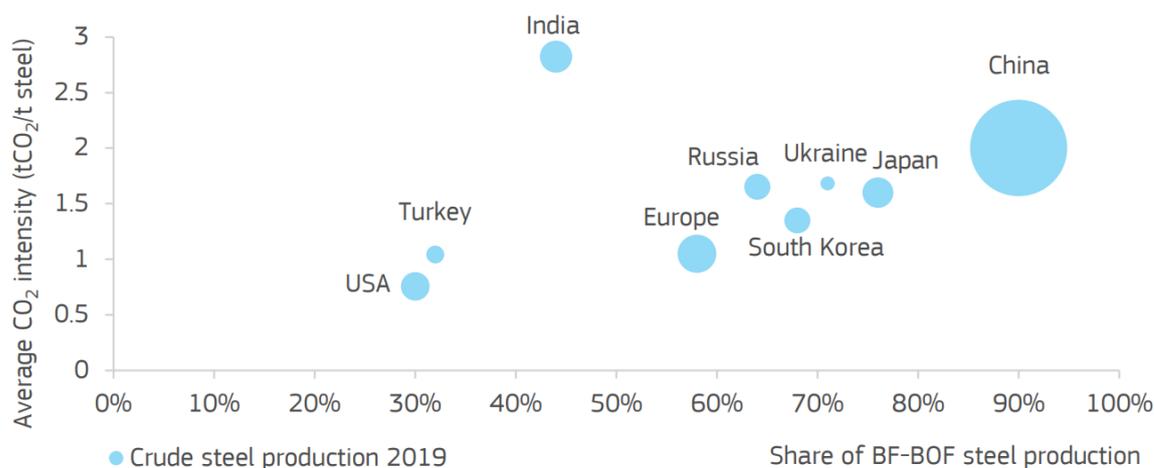


Figura 19 - Média de emissões de CO₂ por região [21]

3.4.2. PRODUÇÃO DE RESÍDUOS E VIDA ÚTIL

O aço é um dos materiais mais recicláveis do mundo, e em que esta prática é tão antiga quanto a utilização do mesmo. Apesar de uma grande parte das matérias-primas metálicas utilizadas na produção de aço serem provenientes do minério de ferro, cerca de 70%, a restante parte tem origem em aço reciclado proveniente da sucata. A produção de aço através do minério de ferro utiliza como a sua principal fonte de energia o carvão, enquanto a produção a partir da sucata utiliza processos com consumos de energia significativamente mais reduzidos. O aço pode também ser reciclado várias vezes, sem perdas significativas das suas propriedades, o que contribui para uma melhor circularidade. [39].

Apesar de não ser comum esta associação, a produção de elementos de aço constitui um método de pré-fabricação, uma vez que a sua produção é feita em ambiente industrial e transportada para o local de aplicação já na sua forma final. Estes tipos de características fazem das soluções em aço uma alternativa mais sustentável para a construção. Uma das maiores vantagens é a capacidade de construir uma estrutura com grande qualidade de forma bastante mais rápida relativamente ao betão, fazendo reduzir os recursos necessários em obra e, simultaneamente, o controlo de qualidade associado à produção industrial, minimiza os impactos ambientais em obra e a acumulação de entulho e torna o estaleiro de obra um local mais produtivo [40].

No entanto, apesar da maior parte do aço de sucata seja aproveitada e reciclada, a procura global é de tal ordem que excede em 3 vezes a quantidade reciclada, ou seja, se não houver uma redução significativa no uso de materiais, a necessidade de produzir aço será cada vez maior [41].

3.4.3. ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEIS

Com a ambiciosa meta de se alcançar a neutralidade carbónica em 2050 e reduzir em 55% as emissões até 2030 (objetivos estabelecidos pelo Parlamento Europeu), é necessário evoluir e adotar novos caminhos tecnológicos que tenham um maior impacto na redução significativa nas emissões de CO₂. Com isto, a união Europeia pretende liderar a luta contra as alterações climáticas.

Para o cumprimento destas metas existem já algumas soluções que estão a ser estudadas para se conseguir obter reduções significativas nas emissões de CO₂. Algumas dessas soluções são:

- Hidrogénio (DRI - *Direct Reduced Iron*)
- Captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS – *Carbon Capture, Utilisation and Storage*),
- Eletrificação direta

O *Direct Reduced Iron* (ferro de redução direta) é um processo que utiliza o hidrogénio como a principal fonte de energia e baseia-se na substituição dos combustíveis fósseis tradicionais, como o carvão, por hidrogénio verde, proveniente de fontes renováveis. A utilização deste método, uma vez que a queima do hidrogénio não produz dióxido de carbono, promove uma produção com emissões bastante reduzidas, além de que, o hidrogénio verde é uma fonte de energia limpa e renovável, o que proporciona um melhor caminho rumo às metas de neutralidade climática estabelecidas pela União Europeia. O uso de hidrogénio evita por completo o uso de combustíveis fósseis e poderia já ser uma medida implementada em 2030, no entanto grande parte dos fabricantes permanece à espera que esteja disponível hidrogénio em quantidades suficientes e a um preço mais acessível [21].

Os processos CCS (*Carbon Capture and Storage*) e CCU (*Carbon Capture and Utilization*) desempenham um papel fundamental no que diz respeito a novas tecnologias com o propósito de reduzir as emissões de dióxido de carbono e à descarbonização do setor da indústria siderúrgica. No processo CCS, o CO₂ gerado durante a produção de aço é retido nas instalações industriais, comprimido e depois é enviado para locais de armazenamento geológico, onde é armazenado de forma segura, de modo a evitar que seja libertado para a atmosfera [21].

Na etapa de utilização (CCU), o dióxido de carbono capturado é transformado em produtos de valor agregado, em alternativa a ser armazenado. Uma das suas utilizações pode ser na produção de combustíveis sintéticos, que podem ser utilizados como alternativas aos combustíveis fósseis. Além disso, pode também ser convertido em materiais de construção, como cimentos e agregados, tendo desta maneira, um impacto ainda maior na redução das emissões do setor. Para além das utilizações já descritas, existem ainda outras como, produção de produtos químicos, fabricação de plásticos e até produção de produtos farmacêuticos, que na sua globalidade não só contribuem para uma redução das emissões de CO₂, como simultaneamente proporcionam oportunidades para a criação de novos produtos e mercados sustentáveis [42].

Já a eletrificação consiste num processo de utilização de eletricidade gerada por fontes renováveis de energia, nomeadamente, energia eólica, solar, hídrica, entre outras. O principal objetivo é ser uma alternativa à utilização de combustíveis fósseis.

Algumas das principais vantagens da eletrificação, e em comum com as restantes alternativas existentes, centram-se na [43]:

- **Redução das emissões dos gases de efeito de estufa**
- **Melhoria da qualidade do ar**, promovendo a saúde pública e reduzindo doenças prematuras
- **Maior eficiência energética**, resultando num menor consumo de energia
- **Diversificação da matriz energética**, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis
- **Novas oportunidades de investimento e criação de empregos**, estimulando o crescimento económico

- **Promoção da inovação e desenvolvimento**

A *ArcelorMittal*, uma empresa europeia produtora de aço, com produção em 15 países, e segunda maior produtora do mundo em 2023, com uma produção de 68,89 milhões de toneladas de aço, lidera inúmeros projetos de inovação na Europa nas mais diferentes tecnologias já descritas. Esta empresa tem várias fabricas espalhadas por 15 países diferentes. No ranking das maiores produtoras, a segunda empresa europeia aparece apenas em 43º lugar [19].

3.4.4. COMPARAÇÃO COM OUTROS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Uma das soluções cada vez mais utilizadas, em alternativa ao betão e aço, sobretudo em edifícios de habitação, é a madeira. Os produtos à base de madeira são derivados das árvores, uma fonte renovável que absorve CO₂ e o transforma em oxigênio, libertando-o para a atmosfera através da fotossíntese. Durante este processo, o carbono fica armazenado na estrutura das árvores. Além disso, na sua produção, os níveis de consumo de energia são bastante reduzidos. Atualmente, num mundo cada vez mais preocupado com a sustentabilidade, a escolha da madeira para alguns projetos surge como uma escolha responsável no que toca a minimizar o seu impacto ambiental [44].

No âmbito das construções em madeira, surgiu o sistema CREE, que consiste numa solução inovadora para a construção híbrida de edifícios. Este sistema combina lajes híbridas pré-fabricadas, pilares de madeira lamelada colada (*gluelam*) e elementos de fachada modulares, com objetivo de proporcionar uma construção mais rápida e eficiente [45].

A base deste sistema são as lajes híbridas, formadas por betão e madeira, que fornecem resistência ao fogo e permitem uma grande flexibilidade no design, pela adaptação da variação do seu comprimento. A montagem dos pilares pode ser realizada em simultâneo com os elementos da fachada, evitando processos de cura, acelerando todo o processo construtivo. Os elementos da fachada são aplicados na estrutura principal do edifício e são altamente adaptáveis e personalizáveis ao local e aos requisitos do edifício. A rapidez com que o edifício fica vedado permite que os acabamentos interiores comecem mais cedo e elimina também a necessidade de andaimes [45].

O objetivo é que um projeto CREE seja altamente colaborativo com todos os *stakeholders* desde o início do projeto, permitindo tomadas de decisão antecipadas que, recorrendo à produção industrial dos módulos, simplifiquem o processo de montagem e logística. Entre os benefícios do sistema CREE estão principalmente a velocidade de construção e a emissão de CO₂, ambas reduzidas a 50%, mas também reduções no custo, transporte e materiais [45].

O Grupo Casais, que é uma das maiores referências nacionais na área de Engenharia e Construção, possui já no seu portefólio duas unidades hoteleiras construídas com este sistema, uma em Guimarães e outra em Madrid. Como prova da eficiência deste sistema destaca-se o tempo em que se completou toda a execução de estruturas e fachadas para o hotel em Madrid, que é composto por 6 andares e 120 quartos, e que demorou apenas 14 dias.



Figura 20 - Montagem de fachada pré-fabricada em sistema CREE [45]

Apesar de todos os benefícios, este tipo de sistemas e outras construções em madeira, apresentam também desvantagens comparativamente a soluções com outros materiais. Sendo o tema de estudo as estruturas metálicas, apresentam-se na seguinte tabela algumas comparações referentes a estruturas de madeira e de aço:

Tabela 2 – Comparação dos benefícios do aço em relação à madeira [46]

CRITÉRIO	AÇO	MADEIRA
Ambiente e Humidade	Não é afetado por térmitas, insetos e outros	- Material altamente permeável sujeito a mofo, bactérias e humidades - Dependente das condições climatéricas, particularmente da humidade, e vulnerável a ventos fortes
Vida Útil	No fim de vida, 98% do aço pode ser reciclado	Não pode ser reciclada
Durabilidade	Vida útil dos edifícios entre 50 e 100 anos	Ciclo vida económica dos edifícios é inferior a 50 anos
Instalação	Materiais chegam à obra na sequência de montagem	Maior necessidade de espaço para armazenamento no estaleiro
Resistência ao Fogo	Incombustível e não vai contribuir para a propagação do fogo	Apesar de ter tratamentos, continua inflamável

3.5. CUSTOS E PRAZOS DE CONSTRUÇÃO

No que se refere a redução de prazos de construção, a opção por estruturas metálicas apresenta diversos benefícios, devido às características intrínsecas do material.

Uma das principais vantagens é a eliminação da necessidade de cofragens, que em estruturas de betão armado é necessária para formar os moldes e garantir que ganha alguma resistência. Esta variante não só afeta o período depois da execução dos elementos, como também o período que o antecede, uma vez que a cofragem tem de começar a ser preparada nos dias anteriores à chegada do camião de betão à obra. No caso da estrutura metálica, os elementos chegam à obra prontos para serem montados, uma vez que são produzidos em ambientes controlados, como fábricas, onde são asseguradas condições elevadas de qualidade e rigor, como já foi visto anteriormente.

Outra vantagem destes elementos já virem na sua forma final, é não requererem escoramento. Nas estruturas de betão armado é habitual a utilização de sistemas de escoramento durante o período em que ganham resistência e até que se sustentem sozinhas. Este processo para além de ser demorado, também complica a logística do estaleiro. Nas estruturas metálicas esta fase é suprimida, permitindo assim que o projeto avance de forma mais rápida e eficiente.

Estando as estruturas metálicas dentro da família dos elementos pré-fabricados, beneficiam também de todas as vantagens discutidas no capítulo anterior, para além destas mais específicas de montagem em obra. A produção dos elementos pode ser iniciada antes da conclusão da execução das fundações, em betão armado, o que significa que obra pode ter duas frentes simultâneas, otimizando o tempo total do projeto. Todo este processo simplificado, proporciona também um estaleiro de obra muito mais organizado e com grandes reduções de geração de resíduos, podendo a fase da estrutura ser concluída com reduções de 20 a 50% do prazo.



Figura 21 - Montagem de estrutura metálica [34]

A fabricação dos elementos pode começar antes ou durante a fase de execução das fundações e ir sendo entregue ao ritmo de evolução da obra. Conseguem também fazer com que o estaleiro da obra seja mais organizado e se gere menos resíduos.

Todos os fatores que tenham influência na redução do cronograma da obra, acabam por contribuir indiretamente também para a redução dos custos associados a esta.

Numa perspetiva de custos diretos associados à compra dos elementos e materiais, o preço do aço é bastante variável e sujeito a flutuações mensais (Figura 22). Esta variabilidade está associada a diversos fatores, sendo a oferta e procura do mercado uma das principais. Os custos das matérias-primas, como o minério de ferro, desempenha também um papel decisivo. A variação dos últimos 20 anos está representada na Figura 22. Outros fatores que impactam o custo do aço incluem os preços de energia, que são fundamentais nos processos de produção, com maior relevância nos que requerem altas temperaturas, como já se viu que é o caso dos altos fornos, descritos anteriormente. Também os custos de transporte podem ter um impacto significativo no preço final do aço, devido a variações nos preços dos combustíveis, por exemplo.

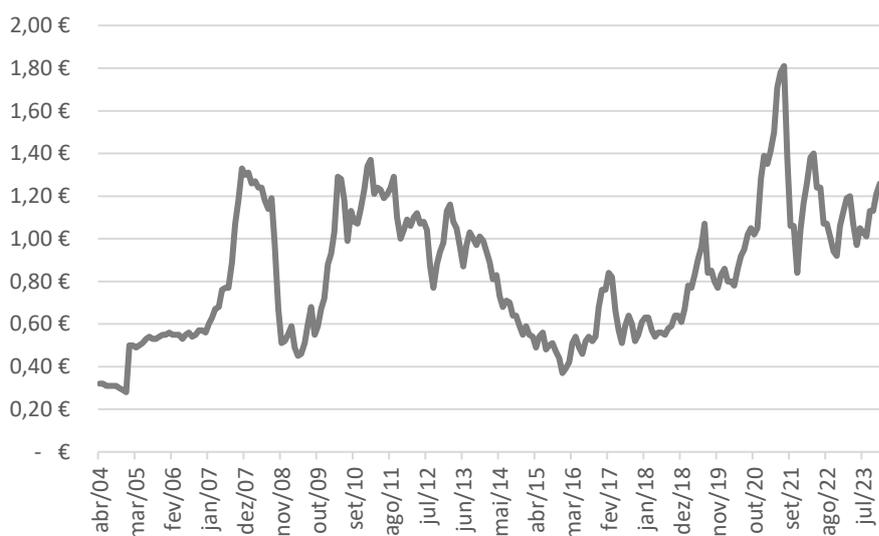


Figura 22 - Variação mensal do valor do minério de ferro nos últimos 20 anos [47]

Fazendo uma análise da trajetória de preços do minério de ferro e petróleo bruto nos últimos 20 anos, haverá uma perceção comum de que o petróleo é uma matéria-prima mais volátil. No entanto, essa perceção nem sempre condiz com a realidade. Uma análise mais aprofundada revela que, em termos percentuais, o minério de ferro apresenta oscilações mais acentuadas (Figura 23).

Esta característica singular pode-se justificar com base em diferentes fatores, como o ritmo incerto da construção civil, eventos geopolíticos e a procura por alternativas de construção.

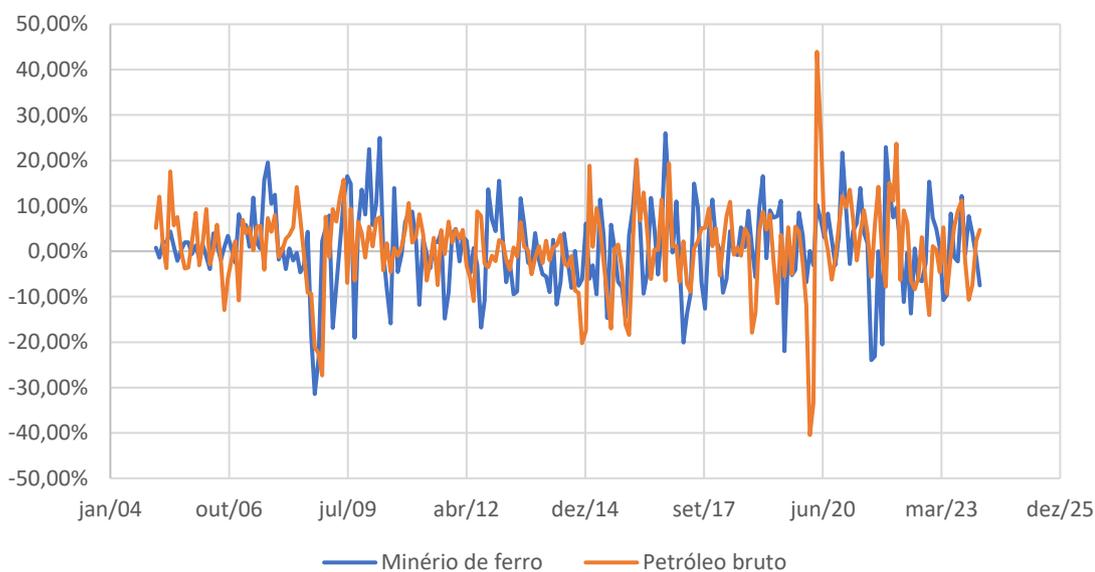


Figura 23 - Variação percentual de preço do minério de ferro e petróleo nos últimos 20 anos [47]

A falta de instalações siderúrgicas em Portugal, e até na Península Ibérica, implicando uma capacidade de produção reduzida, quando comparada com outros países da União Europeia (Figura 24), resulta numa variação ainda mais significativa do preço do aço no mercado português, devido aos custos de transporte, uma vez que há necessidade de recorrer a produtores externos. O betão, por outro lado, apresenta maior estabilidade devido a uma maior distribuição de centrais de produção pelo país, reduzindo os custos de transporte. Os maiores grupos de construção portugueses investem nas suas próprias centrais de betão, de modo a conseguirem otimizar a cadeia de fornecimento e garantir maior competitividade com o controlo sobre os custos. Apesar disso, o custo das soluções em betão armado, está igualmente influenciado pelos varões de aço para as armaduras, sujeitos também as variações de preço.

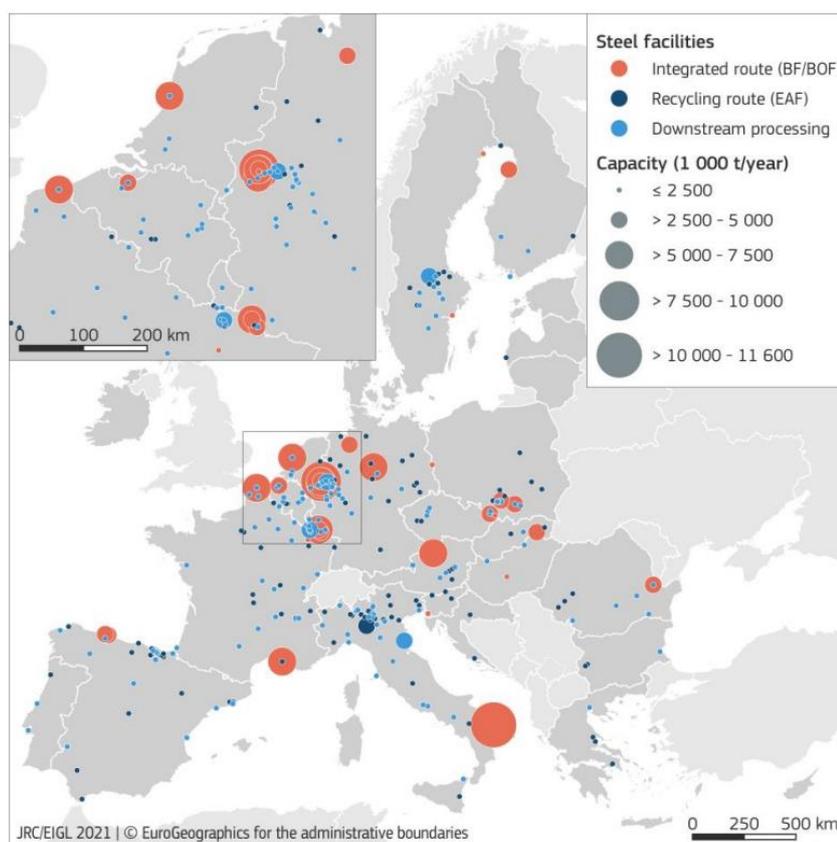


Figura 24 - Instalações siderúrgicas na Europa [21]

Tendo por base estes fatores e variantes, numa primeira análise, o custo de uma solução estrutural em aço será definitivamente mais cara que uma solução tradicional em betão armado. No entanto, estas soluções podem ser economicamente mais vantajosas, se consideradas as reduções em termos de material e prazos já descritas.

No seguinte capítulo, através da análise de um caso de estudo real, serão estimadas as reduções de custos e tempo que esta tipo de soluções apresentam, tendo por base custos de outras obras da empresa.

4

ANÁLISE DE UM CASO DE ESTUDO

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será realizada uma descrição do sistema estrutural com perfis metálicos para um edifício de habitação, e outras alternativas pré-fabricadas, no âmbito da mudança de paradigma da construção para uma melhor resposta aos problemas atuais. A abordagem terá por base os custos diretos associados a esta solução e algumas das questões funcionais descritas no capítulo anterior.

Esta análise surge de uma proposta feita pela empresa Ferreira Construção de estudar a viabilidade da adoção de tecnologias diferentes do convencional, e perceber de que forma se enquadram e dão resposta aos problemas que estão a tentar ser ultrapassados.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

4.2.1. ENQUADRAMENTO NO PROGRAMA DE HABITAÇÃO A CUSTOS CONTROLADOS

O acesso à habitação em Portugal tem vindo a enfrentar crescentes dificuldades nos últimos anos. Entre os principais problemas, estão o aumento dos preços dos imóveis, principalmente nos grandes centros urbanos, onde se tem vindo a concentrar uma grande parte da população. A perda de poder de compra dos portugueses, as dificuldades no acesso ao crédito à habitação, os arrendamentos descontrolados e a preços excessivos, contribuem também para um agravamento dessa situação.

Nesse contexto, surge o programa de Habitação a Custos Controlados (HCC), onde este projeto se insere, que promove a aquisição ou construção de habitações a preços acessíveis com o apoio do Estado. As habitações destinam-se a habitação própria ou para arrendamento.

As principais vantagens, na ótica do promotor, são o acesso a linhas de crédito especiais e alguns benefícios fiscais. É da responsabilidade do promotor a comercialização das habitações.

Os fogos que forem vendidos para habitação própria estarão sujeitos a um regime de intransmissibilidade por 5 anos, assim como os fogos arrendados estarão sujeitos a um regime de renda condicionada pelo mesmo período.

São elegíveis para este programa todas as empresas que tenham o alvará adequado, ausência de dívidas às finanças e à segurança social e os projetos aprovados pelos municípios.

O objetivo deste programa é essencialmente aumentar a oferta da habitação a preços acessíveis e controlados, contribuindo para uma maior facilidade de compra para famílias com rendimentos médios.

4.2.2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto em estudo é de um edifício de habitação multifamiliar, localizado em Vila das Aves, promovido pela construtora Ferreira Construção, dividido em dois volumes, composto por 70 frações, distribuídas da seguinte maneira:

- 11 frações da tipologia T1
- 45 frações da tipologia T2
- 14 frações da tipologia T3

O empreendimento conta com uma área total de construção de 8492,22 m², com 2324,75 m² abaixo do solo e 6167,47 m² acima do solo sendo o projeto de arquitetura desenvolvido pelo gabinete Sousa Lima & Rocha Reis. Alternativamente à solução convencional de estrutura em betão armado, este edifício foi projetado para uma estrutura metálica combinada com lajes colaborantes.

Cada um dos volumes é composto por 4 pisos, como ilustra a Figura 25. Existe ainda um piso comum de garagem.



Figura 25 - Imagem 3D do projeto



Figura 26 - Alçado principal

À data de realização deste trabalho, o empreendimento encontra-se ainda numa fase de licenciamento, não tendo sido iniciado qualquer trabalho em obra.

A análise das plantas das tipologias T1 e T2, ilustradas através da Figura 27, reflete uma necessidade de construção de frações com áreas mais compactas, de maneira a otimizar o espaço disponível. As salas foram projetadas em conceito *open space*, sem qualquer separação para a cozinha, resultando assim numa economia de espaço e custos. Não existem também *halls* de entrada nem de circulação para a zona dos quartos. O principal objetivo desta abordagem é construção de habitações, que apesar de terem áreas reduzidas, sejam completas e funcionais, integrando todas as áreas essenciais. Deste modo, rentabiliza-se melhor as áreas de construção disponíveis, consegue-se uma melhor resposta aos problemas atuais do acesso à habitação, e um produto final enquadrado no programa de Habitação a Custos controlados.

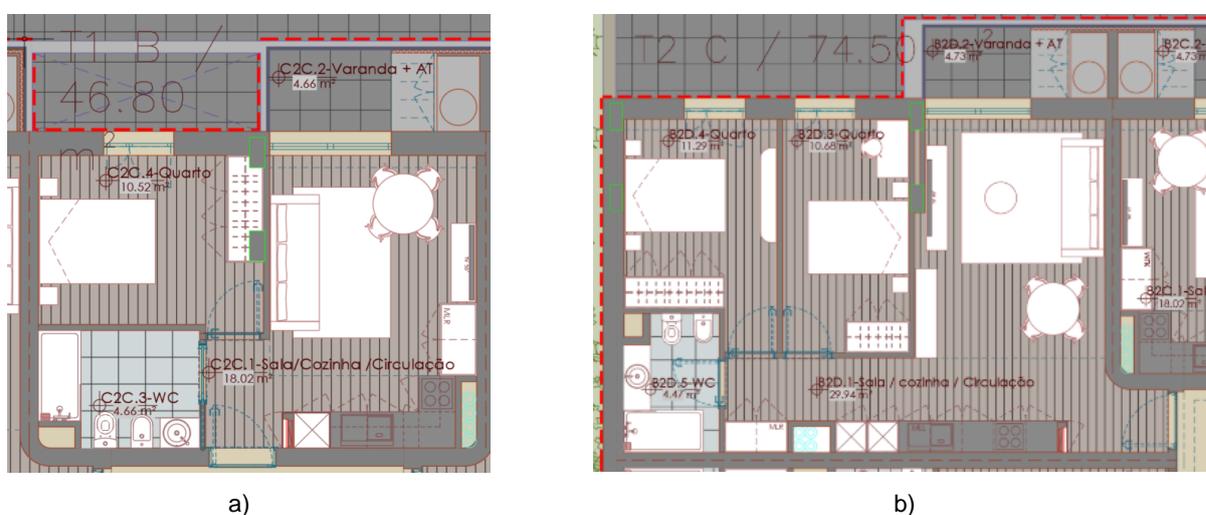


Figura 27 – Exemplo de planta de frações: a) T1, b) T2

No entanto, apesar de o objetivo ser a oferta de habitação ao menor custo possível, é também necessário salvaguardar que a qualidade do produto final se mantém, quer através das tecnologias utilizadas, quer através dos materiais escolhidos. Deste modo, não só se dignifica os futuros habitantes, como também se proporciona um ambiente mais seguro e confortável e evita-se manutenções a longo prazo.

Para a construção das divisões, serão utilizados blocos de alvenaria térmicos, nas paredes exteriores de fachada, e tijolo cerâmico nas divisões entre as diferentes habitações e as zonas comuns. As divisões internas de cada fração serão executadas com gesso cartonado, para tornar o processo mais célere e evitar problemas de fissuração dos rebocos.

A fachada será revestida com ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*).

4.2.3. MOTIVO DA ESCOLHA DE ESTRUTURA METÁLICA

Tendo por base alguns dos problemas apresentados no segundo capítulo, mais concretamente os longos prazos de construção e licenciamento, muitas vezes excedidos, surge então a alternativa de se construir adotando uma solução em estrutura metálica (exemplo na Figura 28) de maneira a contribuir para um processo mais célere da construção.

Apesar de ser uma alternativa que se espera ser mais dispendiosa que uma solução convencional em betão armado, a empresa acredita que a redução do prazo e custos com o estaleiro possa vir a representar uma poupança de tempo e mão de obra que se venha a verificar significativa. Estas reduções de prazo são essencialmente justificadas pelas seguintes vantagens:

- Maior rapidez de execução da estrutura;
- Facilidade na montagem e instalação;
- Estrutura mais leve;
- Não necessidade de escoramento.

Ao longo deste capítulo será analisada a expressão dessas reduções de maneira a tornar viável o investimento adicional na estrutura. Serão também abordadas quais as adaptações que precisarão de ser realizadas, em termos de materiais e tecnologias utilizadas, de maneira à resposta funcional do edifício ser semelhante à solução convencional.

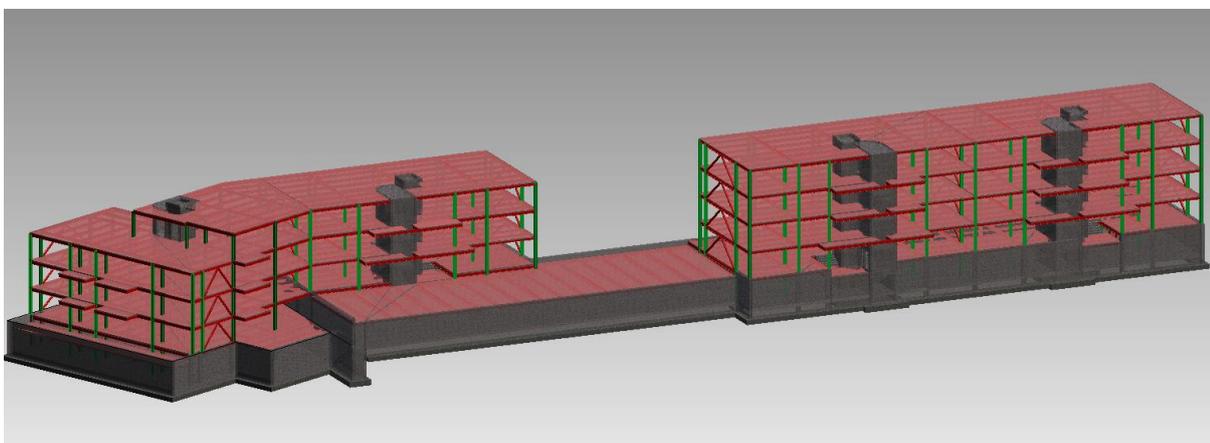


Figura 28 - Modelo 3D do projeto de estruturas (Metal + Betão)

4.3. PLANEAMENTO E EXECUÇÃO DA OBRA

O processo da obra inicia-se, à semelhança de qualquer outra, com a escavação e movimentação de terras, seguida da execução das fundações, feitas em betão armado. Espera-se que, devido ao peso mais leve da restante estrutura, estas possam ser de menor dimensão devido à menor capacidade de carga exigida.

Paralelamente a esta fase, os perfis metálicos deverão começar a ser produzidos pelo fabricante nas suas instalações para que possam ir chegando à obra à medida da necessidade de montagem.

Para a execução da superestrutura, como já foi referido anteriormente, toda a solução estrutural foi projetada e será fabricada, transportada e montada por intermédio da empresa JFMETAL.

É então nesta fase que surge a maior vantagem em termos de prazo desta solução. A execução de toda a superestrutura será realizada num prazo de 3 meses, segundo o fornecedor.

À medida que vão sendo montados os pilares e vigas, são também aplicadas as chapas colaborantes para a betonagem da laje no fim de cada piso montado. Alternativamente, a betonagem das lajes poderia ser

feita só no fim da montagem de toda a estrutura. No entanto, essa tarefa faria parte do caminho crítico da obra.

A não necessidade de qualquer escoramento facilita a operação de montagem de estrutura. Esta característica permite também que, no fim de cada piso completo, e depois de betonada a laje, possam começar, quase de imediato, os trabalhos com alvenaria, seguidos de todos os restantes (Figura 29).

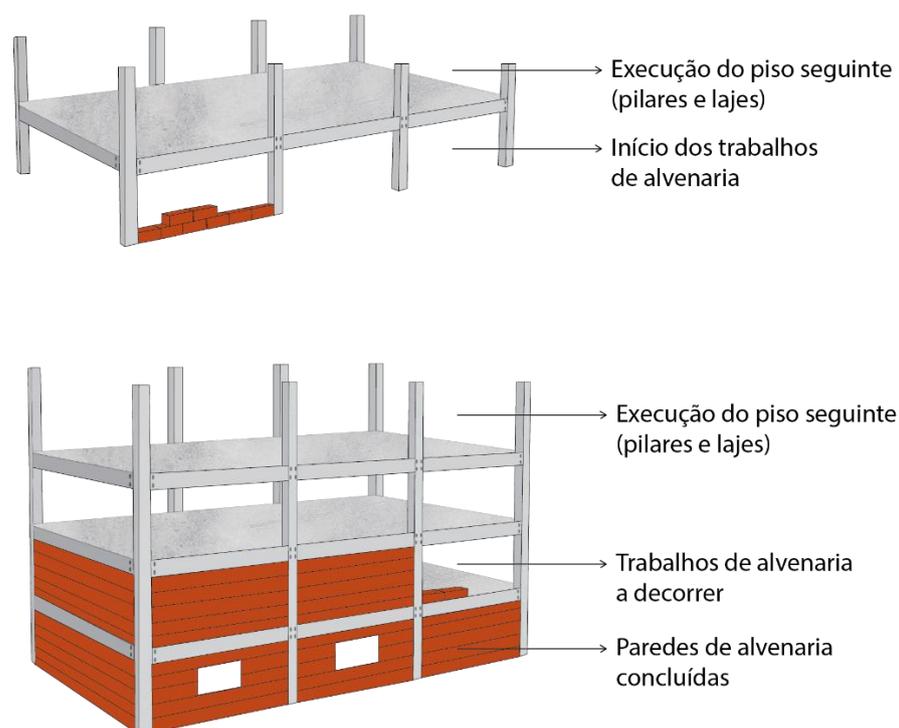


Figura 29 - Esquema do processo de montagem de estrutura metálica e início dos trabalhos de alvenaria

Após a primeira laje de pavimento ser concluída, e o seguinte piso começar a ser executado, poderão também começar a entrar em obra os módulos das casas de banho pré-fabricadas desse piso, como ilustra a Figura 30, e colocados já na sua posição final. Os restantes serão entregues à medida que forem concluídos os pisos superiores. A vantagem neste caso, para além das reduções do trabalho feito em obra, está em os módulos poderem ser entregues e colocados durante a fase de execução da estrutura. O escoramento inexistente liberta espaço para poderem acontecer estas atividades.



Figura 30 - Chegada dos módulos pré-fabricados à obra [48]

Em termos de planeamento, estas são as principais vantagens. Depois de realizada a estrutura e terem começado os trabalhos de alvenaria, todas as restantes tarefas serão executadas da mesma forma e na mesma sequência. Esta redução do prazo influencia os custos com o estaleiro e consequentemente o valor de execução da obra. Também, na ótica do investidor/promotor, esta maior rapidez com que a obra se realiza e pode ser colocada no mercado, permite um retorno mais rápido do investimento realizado.

Apresenta-se de seguida, na Figura 31 e Tabela 3, a duração e sequência dos principais grupos de tarefas considerados. Os dados da tabela foram obtidos de acordo com o planeamento da obra realizado com recurso ao software *Microsoft Project*. Esse mesmo planeamento pode ser consultado em anexo com mais detalhe, com cada uma das tarefas consideradas, onde se situam na *timeline* da obra e as respetivas datas de início e conclusão. Para facilitar a perceção da duração de cada tarefa, considerou-se o início do projeto no dia 1 de janeiro de 2025.



Figura 31 – Diagrama de Gantt retirado do Microsoft Project de sequência dos grupos de tarefas da obra

Dentro de cada um destes grupos encontram-se naturalmente várias tarefas, sendo que muitas delas dividem-se ainda noutras tarefas. Na fase da Estabilidade, Escavação e Contenção, considerou-se todas as durações dos trabalhos de movimentação de terras, execução das fundações em betão (sapatas e muros) e posteriormente a montagem dos elementos metálicos e execução das lajes colaborantes. Na fase dos trabalhos de Construção Civil, considerou-se 3 diferentes subgrupos:

- Envolvente e Divisórias Internas: execução de alvenarias, tetos e paredes em gesso cartonado;
- Revestimentos e Acabamentos: betonilhas, caixilharias, aplicação de sistema ETICS nas fachadas, 1ª demão de pintura, carpintaria e cozinhas;
- Acabamentos Finais: 2ª demão de pintura e soalho.

Tabela 3 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra

Grupos de Tarefas	Duração	Início	Fim
Estabilidade, Escavação e Contenção	134 dias	01-01-2025	07-07-2025
Construção Civil	261 dias	16-04-2025	16-04-2026
Instalações (Água, Eletricidade, AVAC, Esgotos)	208 dias	25-06-2025	10-04-2026
Total:	336 dias	01-01-2025	16-04-2026

Considerando todas as descrições e os dados da Tabela 3, retirados do plano de trabalhos realizado, conclui-se então que a obra terminará, segundo o que foi estimado, dia 16 de abril de 2026. Assim, o prazo para conclusão desta obra é de aproximadamente 16 meses. A duração em dias é referente apenas a dias de trabalho em obra, excluindo-se fins de semanas e feriados. Encontra-se um plano de trabalhos mais detalhado em anexo.

4.4. ANÁLISE DE CUSTOS

4.4.1. SOLUÇÃO ESTRUTURAL

Para a realização da estrutura metálica, foi consultada a empresa JFMETAL que, para além do fabrico e fornecimento dos componentes, ficou também responsável pelo projeto de estabilidade. Para os pilares,

representados a verde na Figura 32, serão utilizados perfis HE, e para as vigas, representadas a vermelho, serão usados perfis IPE maioritariamente, com diferentes secções transversais, mas também alguns HE e UPN. Para os perfis com funções de contraventamento, serão utilizados perfis SHS, não mencionados anteriormente, de secção tubular quadrada.

Na Tabela 4 está detalhado o orçamento apresentado por esta empresa.

Tabela 4 - Orçamento para fornecimento e montagem da estrutura metálica

ELEMENTOS METÁLICOS					
DESCRIÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNIT (€)	PREÇO TOTAL (€)	
1	ESTRUTURA METÁLICA + CHAPA COLABORANTE				
1.1	Fornecimento e montagem de estrutura metálica em perfis da classe S275Jr, incluindo tratamento anticorrosivo, por decapagem e pintura e ligações necessárias a uma boa execução.	m ²	7670,00	106,46 €	816 534,75 €
1.2	Fornecimento e aplicação de pintura intumescente R60 minutos	m ²	7670,00	16,58 €	127 174,78 €
1.3	Fornecimento e montagem de chapa colaborante tipo PC65 com espessuras 0,75mm a 1,00mm	m ²	7670,00	34,62 €	265 566,75 €
1.4	Projeto de Estabilidade	vg	1,00	14 803,10 €	14 803,10 €
TOTAL (SEM IVA):				1 224 079,38 €	

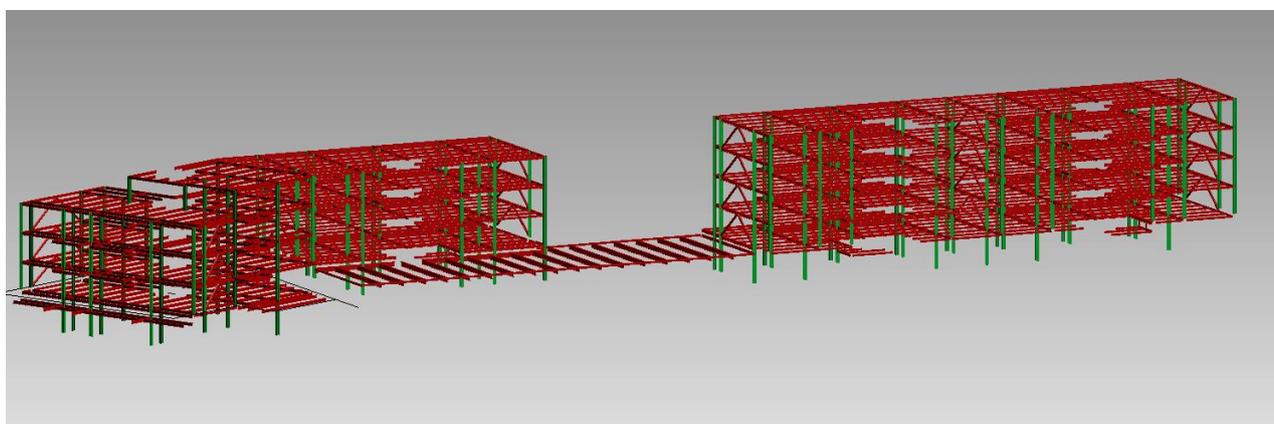


Figura 32 - Elementos estruturais metálicos (pilares e vigas)

No entanto, o orçamento apresentado pela empresa JFMETAL, para fabrico, transporte e montagem dos elementos, não contempla os seguintes trabalhos:

- Trabalhos de construção civil;
- Água e energia elétrica;
- Paragens e deslocações;
- Meios de elevação;
- Taxas e licenças;
- Acessos à obra para meios de elevação material e humano;
- Proteção coletiva;
- Estaleiro;
- Levantamento topográfico.

Para os elementos executados em betão armado, desde as fundações ao núcleos e lajes colaborantes, com base em medições extraídas do projeto de estruturas, foram realizadas pela empresa estimativas do custo de cada elemento em função de preços atualizados praticados em outras obras recentes. O orçamento realizado para todos os elementos em betão feitos no local da obra, apresenta-se na Tabela 5 e a imagem 3D desses elementos na Figura 33.

Tabela 5 - Orçamento para betão *in situ*

BETÃO IN SITU				
DESCRIÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNIT (€)	PREÇO TOTAL (€)
1 FUNDAÇÕES				
1.1 Betão Limpeza	m ³	101,02	69,75 €	7 046,15 €
1.2 Sapatas	m ³	565,00	332,30 €	187 748,37 €
2 SUPERESTRUTURA				
2.1 Pilares	m ³	12,93	583,98 €	7 550,92 €
2.2 Muros	m ³	430,44	439,13 €	189 017,52 €
2.3 Núcleos	m ³	261,24	448,04 €	117 045,80 €
2.4 Lajes Colaborantes (Aço+ betão)	m ³	1013,1	89,21 €	90 380,73 €
2.5 Lajes Maciças (patamares escadas)	m ³	25,4955	311,04 €	7 930,04 €
2.6 Escadas	m ³	50,094	348,82 €	17 473,89 €
2.7 Pavimento térreo	m ²	2530	54,85 €	138 760,38 €
			TOTAL:	762 953,79 €

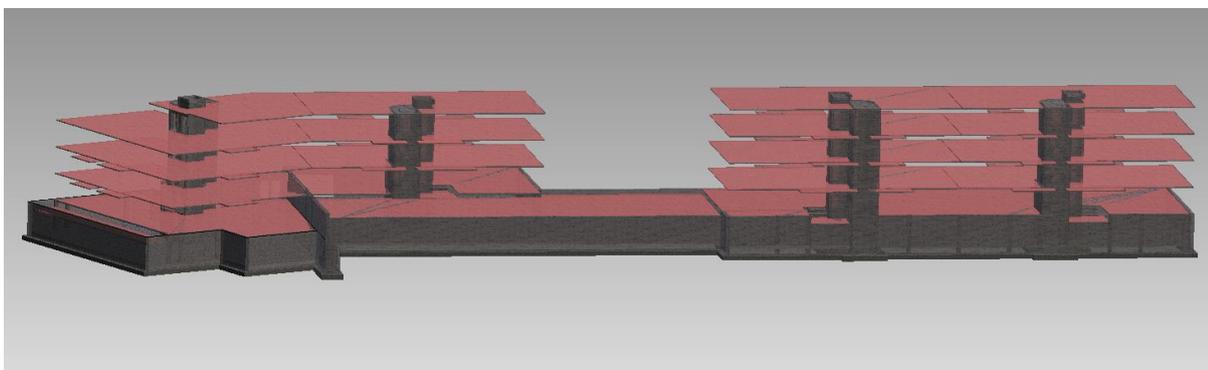


Figura 33 - Elementos estruturais em betão

Excluindo o preço do projeto de estabilidade, apresentado pela mesma empresa fornecedora, considerando apenas os valores de custos de aquisição e montagem dos elementos, o custo para a realização da totalidade da estrutura, apresenta-se da seguinte maneira:

Tabela 6 - Preço Final de Solução com estrutura metálica

Preço Total para a Estrutura	
Estrutura metálica	1 224 079,38 €
Betão in situ	762 953,79 €
TOTAL	1 987 033,17 €
TOTAL/m ²	233,98 €/m²

4.4.2. CASAS DE BANHO

No âmbito da construção pré-fabricada, como já mencionado anteriormente, tem vindo a surgir com cada vez mais relevância, a opção por casas de banho pré-fabricadas, vulgarmente chamadas de *bathroom pods*. Estas unidades chegam à obra totalmente acabadas, tendo apenas de ser feitas as ligações às instalações do edifício (água, eletricidade, ventilação). Trata-se de uma solução eficiente e económica que responde às exigências, já descritas, de rapidez e qualidade de construção. Os módulos são projetados para serem versáteis, podendo ser personalizados de acordo com as especificações do projeto e as necessidades dos utilizadores finais, mas evidentemente com algumas limitações. A diminuição do desperdício de materiais e redução de resíduos é também uma das maiores vantagens destas soluções.

Assim como na grande maioria das soluções pré-fabricadas, o transporte destes módulos será um dos maiores desafios. Este processo poderá apresentar uma série de desafios e impactos que terão de ser considerados.

Em primeiro lugar, os custos de transporte podem ser significativos, especialmente se a fábrica de produção estiver localizada a uma grande distância do local de construção. Além disso, o transporte exige um planeamento minucioso (mais um neste projeto) incluindo a escolha de rotas adequadas e a coordenação de logística, para garantir que as unidades pré-fabricadas cheguem no momento certo.

Durante o transporte há também alguns cuidados adicionais a considerar, de modo a evitar danos, uma vez que se espera que os módulos tenham elementos frágeis, como vidros e louças sanitárias. Adicionalmente, a acessibilidade ao local pode ser uma condicionante, uma vez que as unidades podem ser volumosas e exigir acesso adequado para a descarga.



Figura 34 - Transporte dos módulos [49]

No entanto, apesar dos desafios, a empresa Ferreira Construção tem como objetivo, à semelhança do que já foi feito em outras obras, adotar esta solução e tirar o maior proveito de todas as vantagens que esta pode ter. Vantagens como o custo direto e a redução do cronograma da obra enquadram-se totalmente nos objetivos desta empreitada, fazendo todo o sentido considerar esta opção.

Tomou-se como referência os preços para os módulos das casas de banho praticados noutra obra da mesma empresa, uma residência de estudantes. Nesse caso os preços variaram entre os 3 000 e 3 200 euros por unidade. Para esta obra, tratando-se de um edifício de habitação para famílias, as dimensões, na maioria dos casos, terão de ser superiores. Para a residência de estudantes, as dimensões das casas de banho estão compreendidas ente 2,5 e 3 m². Por isso, para adotar um valor conservador, e para as casas de banho desta obra com dimensões superiores a 4 m², será considerado um custo por unidade de 3 400 euros, enquanto para as restantes, 3 200 euros cada uma. Assim, a estrutura de preços, apresenta-se na seguinte tabela:

Tabela 7 - Estimativa de Custos para Casas de Banho Pré-fabricadas

DIMENSÕES	QUANTIDADES	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
3,04 m ²	1	3 200 €	3 200 €
3,36 m ²	3	3 200 €	9 600 €
3,37 m ²	7	3 200 €	22 400 €
3,63 m ²	3	3 200 €	9 600 €
3,67 m ²	1	3 200 €	3 200 €
3,82 m ²	3	3 200 €	9 600 €
4,47 m ²	56	3 400 €	190 400 €
4,66 m ²	8	3 400 €	27 200 €
5,19 m ²	3	3 400 €	10 200 €
TOTAL:	85	TOTAL:	285 400 €

Será importante ainda salientar que, neste projeto, existem 9 dimensões diferentes de casas de banho e que algumas delas, apesar de terem a mesma área, têm colocação de louças em posições inversas. Das 85 instalações sanitárias previstas no projeto, e apresentadas na Tabela 7, 56 têm a mesma dimensão, o que facilita a produção em série. Ainda assim, há várias instalações com áreas distintas e algumas que não se repetem, ou que se repetem apenas 3 vezes, o que vai contra o que é ideal para este tipo de produção em fábrica e não permite tanta eficiência do ponto de vista financeiro e de uso de materiais.

4.4.3. CUSTOS DE ESTALEIRO

A construção de um edifício com uma estrutura metálica, em comparação com uma construção tradicional, pode apresentar diferenças significativas em termos de custos e necessidades relativas ao estaleiro de obra.

Em primeiro lugar, a montagem dos elementos estruturais, vigas e pilares, pode requerer o uso de uma grua automóvel para a elevação e posicionamento dos mesmos, devido ao peso e dimensões das peças metálicas. O custo de aluguer de uma grua automóvel é substancialmente mais elevado, comparativamente com o preço de uma grua torre. No caso desta obra, não será necessário o recurso a uma grua automóvel, já que a dimensão e peso dos perfis metálicos, permite a utilização de uma grua torre.

Adicionalmente, no caso de ser pretendido o armazenamento das peças, o estaleiro precisa de ter áreas maiores e estar mais organizado, de maneira a facilitar o acesso dos meios de elevação e evitar danos para as peças. Apesar disso, de uma maneira geral, o estaleiro de uma obra deste tipo não precisa de espaços muito amplos.

Apesar dos pontos anteriores, com a redução dos prazos de construção, a totalidade dos custos de estaleiro pode vir a ser reduzida, e esta redução ter uma expressão significativa. Seguem-se alguns dos custos de estaleiro, com valor mensal, que com a redução do prazo serão também menos elevados:

- Aluguer de contentores para escritórios, instalações sanitárias e áreas de refeições;
- Cercas e vedações;
- Energia elétrica e água;
- Iluminação.

Para este caso em concreto, o estudo de viabilidade de utilização destas tecnologias (estrutura metálica e casas de banho pré-fabricadas) baseou-se apenas numa análise macro dos custos, focado nos benefícios da redução de prazo e nos custos diretos de compra das unidades pré-fabricadas. A análise mais detalhada de outros equipamentos especializados que possam vir a ser necessários, como por exemplo para manuseio e elevação dos elementos envolvidos, não será abrangida neste estudo, devendo, no entanto, ser considerada na tomada de decisão final do projeto.

Tendo em consideração o histórico das obras mais recentes da empresa, e os preços atualizados, os valores expectáveis de custo de estaleiro situam-se entre os 35 000 a 50 000 euros por mês. Este intervalo de valores corresponde, naturalmente, às diferentes características e complexidades dos projetos realizados e tecnologias utilizadas.

O valor total do custo de estaleiro deve representar aproximadamente entre 8 e 11% do valor global de construção da obra. Em obras de menor escala, como é o caso do projeto em questão, a percentagem deste custo tende a situar-se nos valores superiores desse intervalo, uma vez que os custos fixos não diminuem proporcionalmente com o tamanho da obra. Em outras palavras, a maioria dos custos associados ao estaleiro, como por exemplo contentores, iluminação, custo da mão de obra, etc., são indispensáveis e permanecem constantes, independentemente do tamanho ou valor total do projeto. Uma obra maior consegue diluir estes custos de estaleiro por um valor total de construção mais elevado fazendo com que essa percentagem se situa mais perto dos 8%.

Assim sendo, apesar da particularidade da montagem da estrutura metálica, esta obra não deverá requerer nenhum equipamento ou máquina especial, tendo-se estimado que o custo de estaleiro deva rondar os 40 000 euros mensais.

Com isto, e considerando o planeamento realizado descrito anteriormente, os custos de estaleiro apresentam-se na seguinte tabela:

Tabela 8 - Estimativa de custos de estaleiro

CUSTO TOTAL DO ESTALEIRO	
Duração em meses	16
Custo Mensal de Estaleiro	40 000 €
Custo Total	640 000 €

4.5. ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE

Para a análise de questões relacionadas com a sustentabilidade da solução, partiremos do início do processo, a produção dos elementos. Como já foi descrito no capítulo 3, a produção destes elementos, laminados a quente, representa níveis muito elevados de emissões de dióxido de carbono, sendo este um ponto de partida negativo para a análise global de sustentabilidade desta solução.

Na fase de transporte, são expectáveis distâncias consideráveis até ao local de produção, o que contribui também para um impacto elevado nesta fase, sobretudo associado ao elevado gasto de combustível de camiões pesados usados no transporte.

Depois de chegados os perfis à obra, como já foi mencionado inúmeras vezes ao longo deste trabalho, um dos pontos fortes da construção *off-site* é a redução dos resíduos gerados durante a fase de construção em obra. Uma vez que este projeto se encontra ainda numa fase de licenciamento, recorreu-se ao site do “Gerador de Preços” para se realizar uma estimativa da geração de resíduos de materiais e embalagens em obra, quer ao nível de peso quer a nível de volume.

Tabela 9 - Resíduos gerados na fase de execução da estrutura [50] [51]

		Peso (kg/m ²)	Volume (l/m ²)
Perfis Metálicos (Pilares+Vigas)	Resíduos gerados	0,05	0,02
	Embalagens	0	0
Execução da Laje com chapa colaborante	Resíduos gerados	0,616	0,388
	Embalagens	1,607	2,304
Total:		2,273	2,712

Através dos valores extraídos do gerador de preços torna-se evidente, como já era expectável, que geração de resíduos da estrutura metálica é praticamente nula. No entanto, a utilização destas estruturas em edifícios, terá que ser sempre combinada com as lajes mistas, o que já implica uma geração considerável de resíduos. Assim, o impacto dos números da estrutura metálica é completamente irrelevante para a análise desta solução como um todo.

A utilização dos módulos para casas de banho, na sequência do processo de fabrico já descrito, tem um grande impacto na geração de resíduos em obra, uma vez que os processos em fábrica são bastante mais eficientes que em obra.

O grande ciclo de vida das estruturas metálicas e a capacidade de reciclagem contínua sem perda de qualidade, reforçam a sua utilidade praticamente infinita.

Por isso, apesar dos indicadores de sustentabilidade serem bastante desfavoráveis numa fase inicial, esta é uma solução muito benéfica a longo prazo

4.6. DESEMPENHO FUNCIONAL

4.6.1. TÉRMICA E ACÚSTICA

Para responder às exigências térmicas do edifício, como já foi anteriormente mencionado, toda a fachada será revestida a ETICS, também referido por vezes como capoto. Este sistema de isolamento pelo

exterior, consiste na aplicação de camadas de isolamento térmico, normalmente placas de EPS ou XPS, que são depois cobertas com uma camada fina de revestimento e acabamento.

A adoção deste sistema apresenta uma série de vantagens, nomeadamente a redução das pontes térmicas ao cobrir toda a parte externa da envolvente de um edifício. Permite também uma maior estabilidade térmica, melhorando a inércia térmica que resulta em variações de temperatura menores no interior do edifício, reduzindo a necessidade de aquecimento e arrefecimento do mesmo.

As áreas das varandas, identificadas no capítulo anterior como uma das mais vulneráveis termicamente, no caso da solução estrutural considerada, são também completamente revestidas pelo sistema ETICS, eliminando as pontes térmicas.

Além disso, o edifício contará com um sistema de ar condicionado para melhorar o conforto térmico das habitações. Esta instalação não corresponde necessariamente a uma questão de necessidade técnica imposta pelo comportamento térmico do edifício, mas sim uma questão comercial.

Relativamente ao desempenho acústico, as estruturas metálicas tendem a conduzir o som de forma mais eficiente que outros materiais de construção. Neste edifício, a única medida implementada para melhorar ativamente o desempenho acústico é a colocação de uma manta acústica por baixo do pavimento ou da betonilha. A manta acústica ajuda a reduzir a transmissão de ruídos de impacto, como passos, movimentação de moveis ou até o barulho de pequenas obras. As paredes divisórias entre frações e zonas comuns serão todas em alvenaria. A escolha adequada do tijolo que será usado, pode vir a ter grande impacto no isolamento sonoro das frações. Poderá, por exemplo, considerar-se a utilização de tijolo maciço para a execução destas paredes. A densidade e ausência de cavidades pode contribuir para uma maior absorção sonora dos ruídos emitidos e assim contribuir para um melhor conforto acústico das frações.

Outra medida que poderá vir a ser tomada é uma camada de enchimento de betonilha mais espessa, de modo a dar maior massa aos pavimentos de separação entre os pisos.

4.6.2. COMPATIBILIDADE ENTRE MATERIAIS

Na construção, a integração e compatibilização de diferentes materiais pode apresentar alguns desafios. Neste caso, trata-se da compatibilidade entre paredes de alvenaria e os elementos estruturais de aço, vigas e pilares. A combinação destes materiais, apesar de comum, apresenta algumas particularidades, sobretudo devido às diferenças entre as propriedades físicas e mecânicas. A especificidade desta solução, se não for devidamente tratada, pode representar uma grande fragilidade para o edifício. O aço, devido ao elevado coeficiente de dilatação térmica, retrai e dilata significativamente mais que a alvenaria e, nesse caso, se não houver tratamento adequado das juntas, pode originar o aparecimento de fissuras nos panos de alvenaria.

Terá então de ser considerada uma ancoragem, onde a alvenaria deve ser bem ligada à estrutura de aço, de modo a garantir estabilidade e a evitar deslocamentos. A ancoragem pode ser realizada com pedaços de ferros de armadura, como mostra a Figura 35, de cerca de 50 cm, com cinco ou seis milímetros de diâmetro, que são soldados nos pilares a cada 3 fiadas. Os ferros têm como objetivo garantir uma melhor conexão entre a alvenaria e a estrutura.

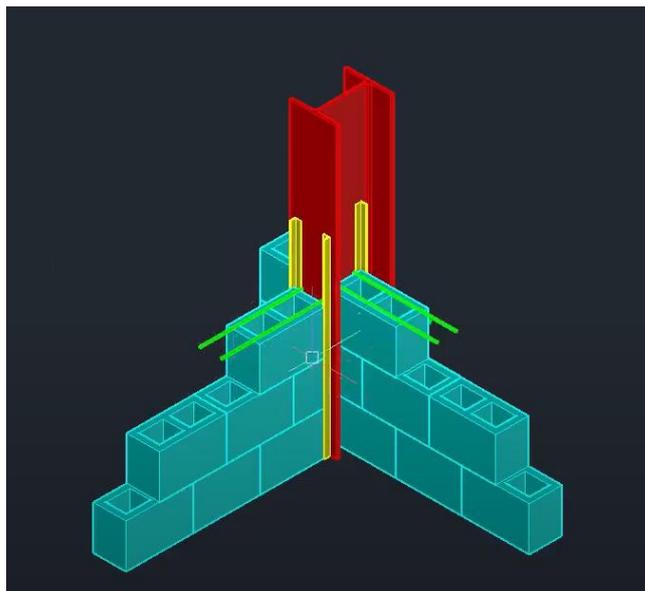


Figura 35 - Esquema de ligação da alvenaria à estrutura metálica [52]

Como sugere a figura, poderão também ser usadas cantoneiras que, não só garantem alguma estabilidade na ligação, como também permitem um alinhamento correto.

4.6.3. RESISTÊNCIA AO FOGO E CORROSÃO

Para garantir e melhorar o comportamento ao fogo, a estrutura metálica será protegida com uma tinta intumescente com classe de resistência R60, classificação que indica que a tinta oferece uma resistência ao fogo por um período de pelo menos 60 minutos, sem que a estrutura perca as suas capacidades estruturais.

A aplicação desta tinta está já incluída na proposta e orçamento apresentado pelo fornecedor, que abrange também o fabrico e montagem dos elementos, não constituindo por isso qualquer preocupação para o empreiteiro. De qualquer modo, é de realçar que este tratamento, na proposta apresentada, constitui cerca de 10% do custo total da solução, como pode ser confirmado na Tabela 4, acima apresentada.

Para este projeto foi adotada por parte do fornecedor a categoria de corrosividade C3 para o tratamento de corrosão da estrutura metálica. Esta categoria, como já foi mencionado na Tabela 1, é definida para zonas urbanas e industriais com poluição moderada por dióxido de enxofre e áreas costeiras de baixa salinidade. Tendo em consideração a localização do edifício, em Vila das Aves, um ambiente que se enquadra nas condições descritas, a escolha da categoria C3 assegura a proteção adequada à estrutura, de modo a garantir a durabilidade e integridade ao longo do tempo.

4.6.4. MÓDULOS PRÉ-FABRICADOS

Os módulos pré-fabricados de casas de banho oferecem diversas vantagens no que se refere ao desempenho funcional dos mesmos. A fabricação em ambientes controlados garante um maior qualidade e consistência, com probabilidade de defeitos muito reduzida. O processo assemelha-se à montagem de

um eletrodoméstico. Assim como todos os componentes produzidos em fábrica, estes módulos beneficiam da padronização e repetibilidade dos processos. A facilidade e rapidez da instalação minimiza a necessidade de coordenação entre diferentes equipas, como picheiros, eletricitas, entre outros, reduzindo também assim o risco de incompatibilidades entre as diferentes especialidades. Para além de todos os processos controlados em fábrica, é comum também haver ainda uma inspeção final depois dos módulos estarem instalados e conectados às instalações do edifício [53].

5

COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO: BETÃO ARMADO VS ESTRUTURA METÁLICA

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo será discutida a viabilidade da construção do edifício recorrendo a estrutura metálica, através da comparação com outras soluções, tendo por base valores de outras obras feitas pela mesma empresa com as mesmas metodologias.

Para fazer esta análise consideraram-se diferentes variáveis do projeto, cada uma com implicações diretas no custo de aquisição de materiais e planeamento global da obra. Foram então consideradas as seguintes variáveis:

- Estrutura – poderá ser realizada com perfis metálicos pré-fabricados ou com uma solução tradicional em betão armado;
- Casas de banho – poderão ser realizadas totalmente *in loco* ou com recurso a módulos pré-fabricados;
- Tempo/custo de estaleiro – esta variável é definida em função das anteriores e terá implicações no preço final da solução e no prazo de execução da obra.

Assim, combinando as diferentes variáveis do projeto, serão estudadas as quatro possibilidades de combinações possíveis, de modo a conseguir avaliar se as diferenças de custo das soluções justificam as vantagens que cada uma delas traz em termos de planeamento. As quatro variantes possíveis são as seguintes:

- Edifício em estrutura metálica com lajes colaborantes e utilização de casas de banho pré-fabricadas;
- Edifício em estrutura metálica com lajes colaborantes e casas de banho feitas tradicionalmente, sem utilização de casas de banho pré-fabricadas;
- Edifício em betão armado com utilização de casas de banho pré-fabricadas;
- Edifício em betão armado com casas de banho feitas tradicionalmente, sem utilização de casas de banho pré-fabricadas.

De todo o modo, neste capítulo a análise terá um foco maior nas duas soluções mais díspares, sendo elas a estrutura metálica com uso de casas de banho pré-fabricadas, descrita no capítulo anterior, e a solução mais tradicional, em betão armado sem recurso a casas de banho pré-fabricadas.

Para realizar a comparação com a solução mista, que combina a estrutura metálica com elementos de betão, a alternativa pensada foi com todos os elementos estruturais em betão armado, desde as fundações aos pilares, vigas e lajes, solução que é a prática mais comum nas obras da empresa e da maior parte da construção portuguesa. É importante referir que, uma vez que o empreendimento foi desde o início pensado para ser em estrutura metálica, não existe qualquer projeto ou estudo pormenorizado para betão armado de onde se possam retirar medições e quantidades, sendo que todas as comparações vão ser feitas com recurso a estimativas baseadas em dados das obras mais recentes da empresa, realizadas com tecnologia semelhante.

Desta forma, a análise tem como objetivo identificar as vantagens e desvantagens de cada uma das soluções, de modo a apoiar a tomada de decisão.

5.2. COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA COM UMA EM BETÃO ARMADO

5.2.1. PLANEAMENTO DA OBRA

Para efetuar a análise a nível de prazos e duração da obra, para os diferentes métodos construtivos, foi elaborado um planeamento macro com recurso ao software Microsoft Project, incluindo os principais grupos de tarefas, permitindo assim fazer a comparação direta em relação a prazos, entre a solução em estrutura metálica e a solução em betão armado.

A principal diferença é sobretudo nos prazos de execução dos elementos da superestrutura, uma vez que a estrutura abaixo do solo é, em ambos os casos, realizada em betão armado com exatamente os mesmos elementos. Para esta solução em betão armado, o prazo estimado, através do planeamento, para a execução da superestrutura é de cerca de 9 meses, em contraste com a estrutura metálica, que já se referiu anteriormente, onde o prazo estimado é de cerca de 3 meses.

Adicionalmente, a solução em betão armado implica a necessidade de escoramento por um período prolongado, o que interfere diretamente com o início dos trabalhos de alvenaria e restantes atividades. O escoramento é necessário para garantir a segurança e estabilidade das lajes durante o período de cura do betão. Isto implica que os trabalhos de alvenaria só possam ser iniciados quando três lajes acima do piso em questão já estiverem betonadas, como está representado na Figura 36. Somente quando o escoramento está a 25% e começa a ser retirado, é que surge o espaço necessários para o início das atividades de alvenaria.

Outro fator considerado para a solução em betão armado, foi a ausência dos módulos pré-fabricados para as casas de banho. Caso fossem consideradas, os módulos apenas poderiam entrar para os pisos na mesma fase em que comessem os trabalhos de alvenaria, devido ao referido problema do escoramento. Enquanto o escoramento estivesse entre os 100% e os 50% não haveria o espaço suficiente para o manuseio dos módulos até ao local final da sua aplicação.



Figura 36 - Esquema do processo de realização da estrutura em betão armado e começo dos trabalhos de alvenaria

Esta solução pelos métodos tradicionais, implica assim a execução de mais atividades diretamente no local da obra, resultando num aumento da complexidade do planeamento da obra ao nível da coordenação das diferentes equipas e tarefas. A introdução dos módulos permite reduzir a duração de algumas tarefas:

- Instalações (água, eletricidade, AVAC e esgotos);
- Fecho das paredes de Gesso cartonado (fase 2);
- Tetos em Gesso Cartonado;

Foi ainda acrescentada uma tarefa para a execução de cerâmicos nas casas de banho, visto que na solução com módulos pré-fabricados esta tarefa não era necessária.

Apresenta-se de seguida, na Figura 37, a duração e seqüência dos principais grupos de tarefas considerados:

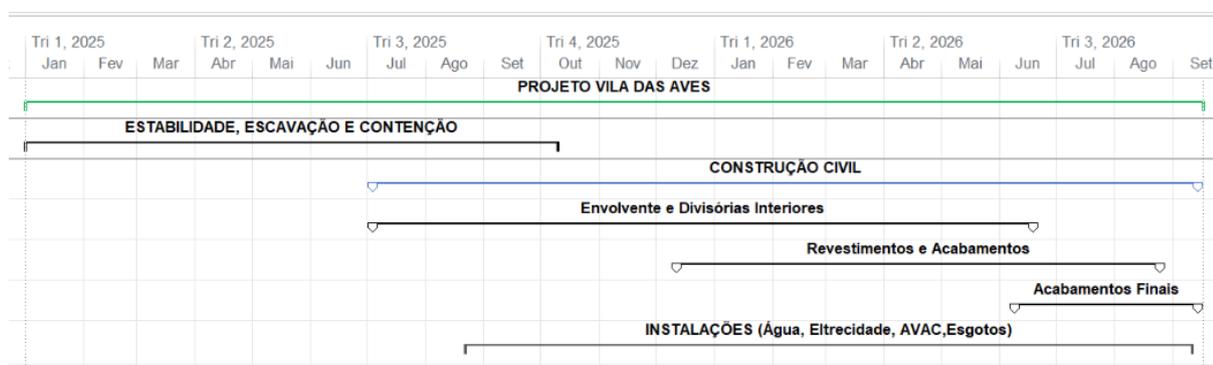


Figura 37 - Esquema retirado do *Microsoft Project* da seqüência dos principais grupos de tarefas para solução em Betão armado com casas de banho feitas tradicionalmente

Relativamente a estes grupos de atividades descritas, as durações e datas de início e de fim, apresentam-se na seguinte tabela:

Tabela 10 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra para solução com estrutura em betão armado

Grupos de Tarefas	Duração	Início	Fim
Estabilidade, Escavação e Contenção	202 dias	01-01-2025	09-10-2025
Construção Civil	311 dias	04-07-2025	13-09-2026
Instalações (Água, Eletricidade, AVAC, Esgotos)	275 dias	22-08-2025	10-09-2026
Total:	446 dias	01-01-2025	19-09-2026

Em termos de duração da obra, esta solução tem um prazo de conclusão de aproximadamente 21 meses, mais 5 meses que a solução com recurso à estrutura metálica. Encontra-se um plano de trabalhos mais detalhado em anexo. A comparação para cada um dos grupos de tarefas está representadas graficamente na seguinte figura:

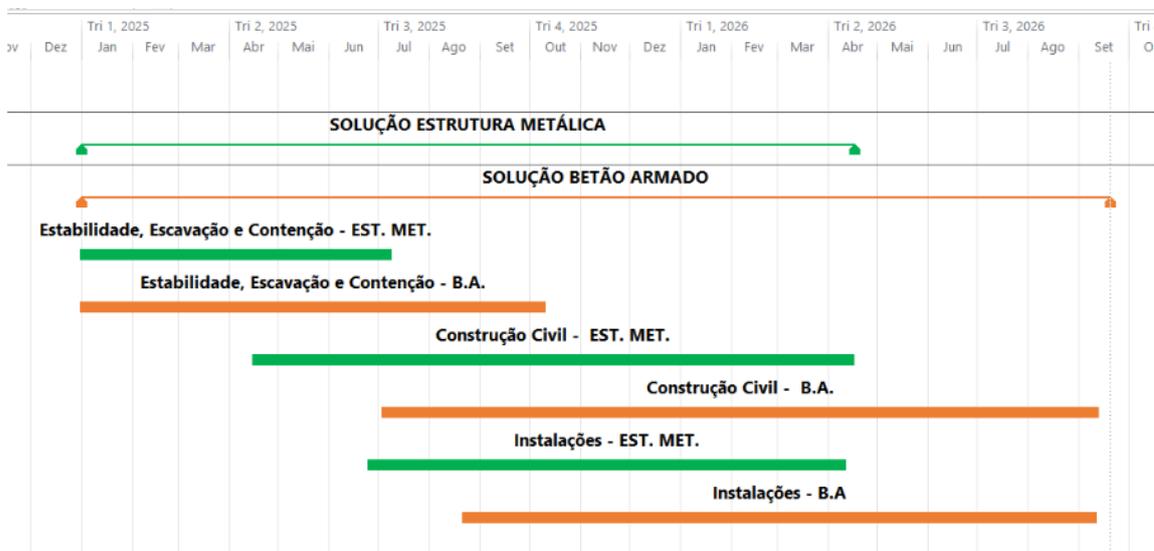


Figura 38 - Diagrama de Gantt comparativo das duas soluções

5.2.2. ANÁLISE DE CUSTOS

5.2.2.1. Solução Estrutural

O projeto deste empreendimento foi pensado desde o início para ter uma estrutura metálica, não existindo por isso qualquer projeto de estruturas feito em betão armado, de maneira a pudessem ser extraídas com precisão as quantidades e volumes de betão.

Assim, foi realizada uma estimativa do custo do betão tendo em consideração o seu custo em obras semelhantes concluídas anteriormente pela empresa. Esta estimativa foi feita tendo em conta o custo por metro quadrado dessas soluções (Tabela 11).

Tabela 11 - Estimativa Custo Total de Solução em Betão Armado

Estimativa de Custo da Estrutura	
Estimativa de preço do betão	215,26 €/ m ²
Área Total de Construção	8 492,2 m ²
Estimativa Custo Total da Solução	1 828 009,80 €

Com base nestes valores, fazendo a comparação direta entre os custos da solução em betão e os custos da solução em estrutura metálica, representam-se na tabela seguinte os diferenciais de custo direto das duas soluções:

Tabela 12 - Diferença de Custos diretos entre as duas soluções

	Betão	Aço + Betão	Diferencial
Área Total de Construção (ATC)	8 492,22 m ²	8 492,22 m ²	=
Custo Total da Estrutura (€)	1 828 009,8 €	1 972 223,3 €	144 213,5 €
Custo/ATC (€ /m ²)	215,26 € /m ²	232,24 € /m ²	16,98 € /m²

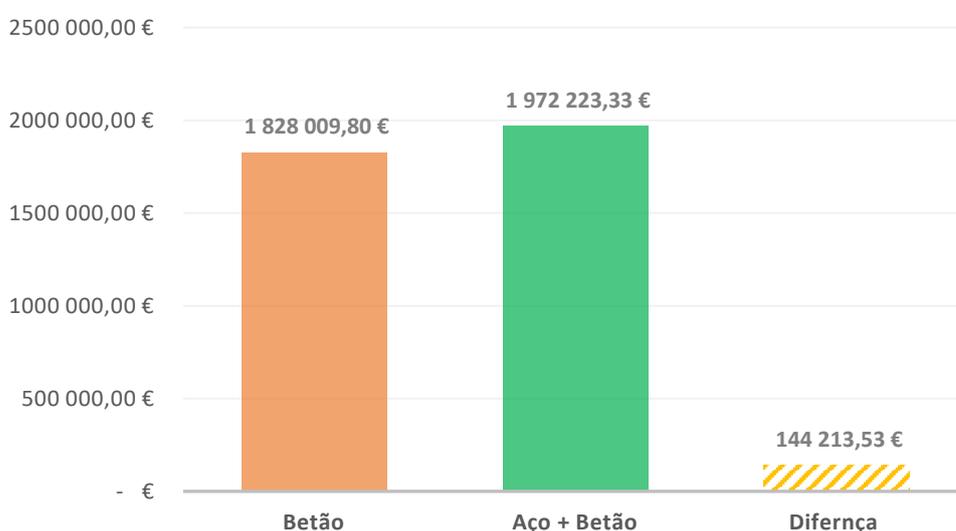


Figura 39 - Gráfico Comparativo de custos associados à estrutura das duas soluções

5.2.2.2. Casas de Banho

Relativamente aos custos associados às casas de banho, apesar de a solução *off-site* poder ser mais económica, devido à sua produção em série, neste caso específico, seguindo a tendência das obras da empresa que já adotaram esta solução, as casas de banho pré-fabricadas apresentam um custo superior em comparação com a estimativa para a realização no local. Comparando as 2 soluções com base nos custos relativos a outras obras, verifica-se que os módulos de casas de banho apresentem um custo 15 a 20% superior. De qualquer forma, com os avanços tecnológicos e a maior eficiência na produção, a oferta destas soluções pré-fabricadas tem crescido significativamente, acompanhado a procura do mercado. Assim, é expectável que a diferença de custo entre estas duas alternativas venha a diminuir, e esta se torne uma solução cada vez mais recorrente. Assim, para este caso de estudo, será considerada uma diferença de custo de 15%.

Com base na estimativa de custos apresentada na Tabela 7 do anterior capítulo, apresentam-se então na figura seguinte as diferenças de preço entre as duas soluções:

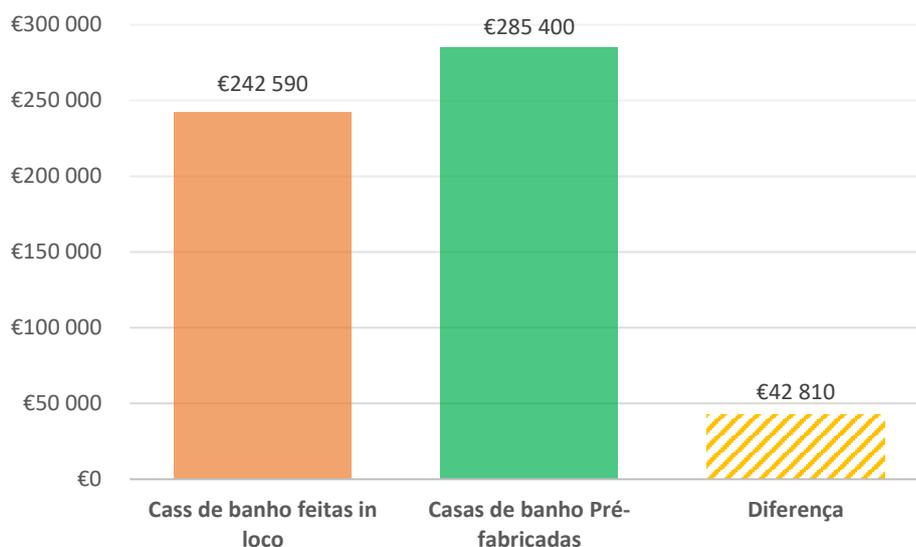


Figura 40 - Preços para as casas de banho nas diferentes soluções

Esta diferença de custos pode estar relacionada com diferentes fatores. Em primeiro lugar, o projeto inclui nove dimensões diferentes de casas de banho, sendo que dentro das diferentes dimensões existem ainda diferenças no posicionamento das instalações, como já foi mencionado. A eficiência da produção em série dos módulos poderá ser afetada por essa particularidade.

Outro aspeto a ter em consideração, é a existência de alguns módulos que se repetem poucas vezes. A produção de pequenas quantidades dos módulos não permite a otimização de processos e materiais que se espera numa produção industrial de grandes quantidades, sendo por isso natural que os custos de fabricação sejam mais elevados.

Alem disso, o transporte e logística associados à entrega dos módulos têm também peso no custo final, devido à localização do fabricante e ao facto de se tratar de componentes volumosos.

5.2.2.3. Estaleiro

Numa análise detalhada seriam identificadas diferenças nas necessidades do estaleiro, com implicação a nível de cálculo de custos. No entanto, e para os objetivos do presente trabalho, assume-se que não haverá diferenças no custo mensal das duas soluções, por se ter definido que a maioria dos custos com equipamentos e instalações seriam semelhantes.

Com base no planeamento realizado de 21 meses, resume-se na tabela seguinte o custo final de estaleiro:

Tabela 13 - Estimativa de custos de estaleiro para solução em betão armado

CUSTO TOTAL DO ESTALEIRO	
Prazo em meses	21
Custo Mensal de Estaleiro	40 000 €
Custo Total	840 000 €

5.2.2.4. Análise Global

Tendo por base a análise individual das diferentes componentes de custo para ambas as soluções, apresentam-se na Figura 41 de forma gráfica a globalidade das diferenças, somando os custos diretos de aquisição dos materiais e o custo de estaleiro para cada solução, tendo já em conta o prazo para execução de cada obra:

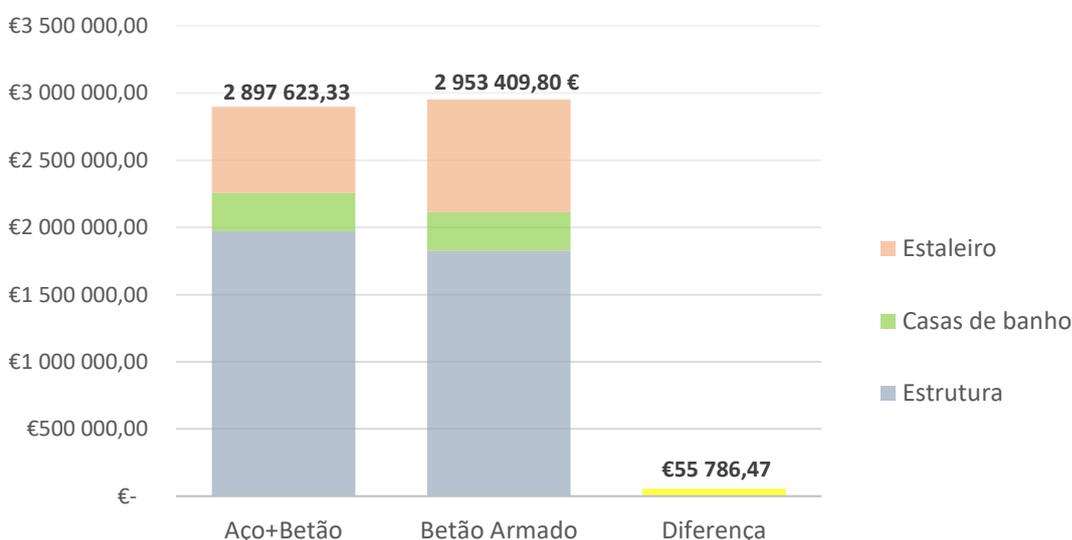


Figura 41 - Comparação global do custo das duas soluções

Apesar de as diferenças de aquisição dos materiais, serem sempre superiores para a solução de Aço+Betão, como foi apresentado nas Figuras 39 e 40, esta solução consegue apresentar custos cerca de cinquenta mil euros inferiores, fruto das poupanças no custo de estaleiro, uma vez que o prazo da obra da solução com estrutura metálica são apenas 16 meses, em comparação com a obra em betão armado, que tem um prazo de execução de 21 meses.

De realçar ainda que, a diferença nos custos das duas soluções corresponde a pouco mais de um mês de custo de estaleiro, o que representa ainda uma margem considerável. Mesmo que o custo das duas soluções, contado com custos de estaleiro, estivessem mais próximos, é importante referir que a obra com estrutura mista entra sempre mais cedo no mercado, o que, face ao programa onde se enquadra o empreendimento e, face aos problemas do mercado habitacional em Portugal, é sempre uma enorme vantagem.

5.2.3. SUSTENTABILIDADE

Para analisar a sustentabilidade das duas soluções construtivas, é essencial considerar vários fatores que influenciam de maneira diferente o impacto ambiental, a eficiência de recursos e os efeitos sociais das práticas de construção. Não existe uma solução ideal universal, uma vez que cada solução possui vantagens e desvantagens inerentes, que precisam de ser avaliadas de forma equilibrada.

Para uma melhor e mais fácil análise, a comparação qualitativa dos fatores da sustentabilidade apresenta-se na seguinte tabela:

Tabela 14 - Comparação de aspetos da sustentabilidade das duas soluções

CRITÉRIO	BETÃO ARMADO	ESTRUTURA METÁLICA
Impacto Ambiental	Moderado	Elevado, emissões de CO ₂ muito altas na produção
Reutilização e Reciclagem	Difícil reutilizar-se alguma coisa no fim de vida útil	Grande potencial de reciclagem de aço
Processo Construtivo	Mais demorado, maior consumo de recursos no estaleiro	Mais rápido, menor geração de resíduos
Impacto Social	Mais ruído e poeira durante a construção	Construção mais rápida e limpa
Transporte	Distâncias mais pequenas, mas elevado número de viagens de camiões para a obra	Impacto maior devido ao transporte de peças pesadas e distâncias elevadas
Durabilidade	Alta, com necessidade de alguma manutenção	Alta se tiver bom tratamento contra corrosão
Eficiência Energética	Boa, devido a elevada massa térmica do betão	Necessidade de um bom isolamento para eficiência semelhante

5.2.4. EXIGÊNCIAS E DESEMPENHO

5.2.4.1. Resistência ao Fogo e Corrosão

Como já foi referido no terceiro capítulo, está na reação e resistência ao fogo, umas das principais diferenças quando se compara as duas soluções. O betão armado é, naturalmente, mais resistente ao fogo devido à sua baixa condutividade térmica. A elevada massa do betão atua como isolante térmico, o que faz atrasar a transmissão da temperatura ao interior da estrutura. Por isso, mesmo sem qualquer tratamento específico, é expectável que uma estrutura de betão tenha um comportamento mais eficaz sobre o fogo do que uma estrutura de metálica

Relativamente à corrosão nas estruturas de betão armado, esta também ocorre de maneira diferente. O betão é um material poroso que pode absorver agentes corrosivos, como ácidos e cloretos, que atacam a camada de proteção das armaduras. e, atingindo os varões de aço, provocam perda de capacidade de resistência da estrutura. A degradação causada por estes agentes corrosivos faz com que o betão se torne macio e se comece a desintegrar. Por isso, é importante que o recobrimento das armaduras seja bem

executado para que não fiquem demasiado expostas a ambientes potencialmente agressivos. É também imprescindível a manutenção regular e inspeções para detetar fissuras ou outros sinais de degradação, antes que a corrosão possa comprometer a integridade da estrutura [54].

5.2.4.2. Comportamento Térmico e Acústico

O betão armado tem uma condutividade térmica mais baixa em comparação com o aço, o que proporciona fluxos de calor mais lentos, ou seja, melhor retenção de calor no inverno e maior proteção contra o calor extremo no verão. A sua elevada massa térmica, em comparação com as estruturas metálicas, ajuda a estabilizar as variações de temperatura e melhorar o conforto térmico dentro do edifício. Estas características justificam também o facto de o betão armado ser mais utilizado nos edifícios de habitação.

Relativamente ao comportamento acústico, a sua alta massa e densidade conferem também às estruturas de betão armado um melhor desempenho em termos acústicos. As propriedades mencionadas ajudam a absorver e bloquear, tanto os sons transmitidos por via aérea, como os sons de percussão.

5.3. ANÁLISE DE OUTRAS VARIANTES

Neste ponto, depois de realizada a análise comparativa das duas soluções mais díspares, serão consideradas outras combinações das variantes do projeto, já formuladas no início deste capítulo.

Para a solução em estrutura metálica, decidiu-se estudar a variante de as casas de banho serem feitas na totalidade em obra, alternativamente aos módulos pré-fabricadas. O resumo do planeamento, com os principais grupos de tarefas apresentam-se na Figura 42.



Figura 42 - Esquema retirado do *Microsoft Project* de sequência dos grupos de tarefas da obra para solução em estrutura metálica com casas de banho feitas *in loco*

Tendo por base o planeamento realizado no *software Microsoft Project*, a duração e datas de início e fim das tarefas apresenta-se resumida na seguinte tabela:

Tabela 15 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra

Grupos de Tarefas	Duração	Início	Fim
Estabilidade, Escavação e Contenção	134 dias	01-01-2025	07-07-2025
Construção Civil	336 dias	16-04-2025	23-07-2026
Instalações (Água, Eletricidade, AVAC, Esgotos)	283 dias	25-06-2025	23-07-2026
Total:	411 dias	01-01-2025	06-08-2026

As principais diferenças, já explicadas anteriormente, são semelhantes às encontradas na solução em betão armado abordada no ponto 5.2. Essas diferenças resultaram no aumento do tempo necessário, comparativamente a solução estudada no capítulo 4, para a execução da primeira fase das instalações (tubos para eletricidade, tubos para abastecimento de águas, sistema de descarga, AVAC, entre outros), na instalação de gesso cartonado em paredes e tetos, e na adição de uma tarefa para a colocação de cerâmicos nas casas de banho. Como resultado, o prazo de conclusão desta obra seria de cerca de 20 meses.

Considerando esse prazo de execução, a seguinte tabela apresenta o total dos custos associados a essa solução:

Tabela 16 – Estimativa de custo da solução com estrutura metálica com casas de banho feitas tradicionalmente

CUSTO DA SOLUÇÃO em estrutura metálica com casas de banho feitas tradicionalmente	
Custo de estaleiro associado	800 000,00 €
Custo de execução de casas de banho	242 590,00 €
Custo da estrutura	1 987 033,17 €
Custo da solução	3 029 623,17 €

Com base nas variáveis que foram formuladas inicialmente, resta estudar a possibilidade de construção com estrutura em betão armado e com utilização de módulos de casas de banho pré-fabricadas.

Esta solução, excluindo os prazos de execução da estrutura e os custos associados á aquisição dos materiais para a mesma, tem a mesma sequência de trabalhos que a solução estudada no capítulo 4. Os trabalhos de alvenaria, que servem de ponto de partida para os trabalhos de construção civil, em função das especificidades da execução das estruturas em betão armado, começarão numa fase mais tarde,

resultando também num aumento do cronograma da obra. Um resumo desse cronograma com os principais grupos de atividades, encontra-se na Figura 43.



Figura 43 - Esquema retirado do *Microsoft Project* de seqüência dos grupos de tarefas da obra para solução em Betão armado com casas de banho pré-fabricadas

Tendo em consideração o excerto do planeamento apresentado, apresenta-se na seguinte tabela as durações, dos grupos de tarefas, em dias de trabalho, bem como as datas de início e de fim:

Tabela 17 - Duração dos principais grupos de tarefas e prazo de conclusão da obra

Grupos de Tarefas	Duração	Início	Fim
Estabilidade, Escavação e Contenção	202 dias	01-01-2025	09-10-2025
Construção Civil	226 dias	18-07-2025	31-05-2026
Instalações (Água, Eletricidade, AVAC, Esgotos)	190 dias	05-09-2025	28-05-2026
Total:	371 dias	01-01-2025	03-06-2026

O prazo para a conclusão desta obra é de cerca de 18 meses.

Por fim, os custos associados a esta solução, com base na solução estrutural adotada, solução escolhida para a execução das casas de banho, e o custo associado ao estaleiro da obra já em função do planeamento estimado, apresentam-se na Tabela 18.

Tabela 18 – Estimativa Custo da solução com estrutura em betão armado com casas de banho pré-fabricadas

CUSTO DA SOLUÇÃO com estrutura em betão armado com casas de banho pré-fabricadas	
Custo de estaleiro associado	720 000
Custo de execução de casas de banho	285 400 €
Custo da estrutura	1 828 009,80 €
Custo da solução	2 833 409,8 €

Para terminar, a Tabela 19 agrega e resume de forma clara as informações sobre os custos e prazos de cada uma das soluções estudadas no projeto, tendo em conta todas as variantes consideradas.

Tabela 19 - Síntese de custos e prazos de todas as soluções

VARIÁVEIS	Estrutura em Betão Armado	Estrutura mista (aço + betão)
Casas de banho pré-fabricadas	2 833 409,8 € 18 meses	2 897 623,33 € 16 meses
Casas de banho feitas tradicionalmente no local da obra	2 953 409,80 € 21 meses	3 029 623,17 € 20 meses

6

CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES

No âmbito do estudo de viabilidade realizado sobre a utilização de estruturas metálicas em edifícios de habitação, ficou claro que, apesar do custo inicial ser mais elevado em comparação com o betão armado, as vantagens associadas a este método construtivo são significativas.

Esta solução, em Portugal, torna-se menos competitiva devido à falta de produção em grande escala, que faz aumentar os custos de transporte. A oscilação do preço da matéria-prima contribui para uma instabilidade e incerteza global em relação ao custo de fabricação dos elementos e consequente da sua posterior aquisição.

É também crucial a adoção de métodos de construção mais sustentáveis. Existem já medidas que incentivam as empresas a introduzirem mudanças, de forma a incentivar a utilização de métodos com menores emissões de CO₂. Também este trabalho e a exploração de métodos de construção industrializada e mais sustentáveis, contribui-se para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 9 e 11. Estes objetivos incentivam a criação de infraestruturas mais inovadoras, eficientes e resilientes, assim como o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis, seguras e inclusivas. Ao focarmo-nos na utilização de tecnologias e métodos que permitem reduzir custos, prazos e o impacto ambiental da construção, alinha-se o trabalho com as metas globais de promoção de um desenvolvimento urbano mais responsável e sustentável, em benefício das gerações atuais, assim como futuras.

O atual panorama da IC e do mercado habitacional português, reforçam a importância da adoção de métodos de construção mais rápidos e eficientes. Nesse sentido, as estruturas metálicas, e também os módulos de casas de banho pré-fabricados, respondem quase na perfeição a essa necessidade, permitindo que a maioria dos trabalhos sejam feitos em ambientes controlados de fábrica, aumentando a precisão e reduzindo erros, o que faz com que se obtenha uma melhoria do produto final.

Relativamente às exigências funcionais, apesar de o aço ter um comportamento e propriedades muito distintas, com tratamento e cuidados adequados às suas especificidades, esta solução consegue assegurar todas as exigências de um edifício de habitação.

Considerando o propósito inicial de estudar métodos construtivos mais rápidos e eficientes, com base no resumo da Tabela 19, a combinação mais vantajosa em custos/prazos é, sem dúvida, a solução estrutural metálica com recurso a casas de banho pré-fabricadas. Os custos de cada solução já têm em consideração as reduções de prazo e a solução em estrutura metálica não é a que apresenta o custo mais reduzido. No entanto a diferença de custo não é significativa e por isso não se sobrepõe ao benefício da redução de prazo.

6.2. RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Em resultado das análises feitas ao longo deste trabalho, que se baseou num edifício desenvolvido em planta, aponta-se que seria interessante considerar a solução em estrutura metálica para futuros edifícios com desenvolvimento em altura. Como estas estruturas são mais leves, e com alta relação de resistência-peso, permitem também um menor número de fundações e mais leves. Em edifícios em altura, há também a possibilidade de as alvenarias e acabamentos interiores começarem mais cedo, à medida que se conclui cada piso, quando comparadas a edifícios com desenvolvimento em planta em que os pisos são maiores e de mais demorada conclusão.

Para além disso, a decisão pela adoção de casas banho pré-fabricadas tem que ser tomada nas fases iniciais do projeto, ainda antes de ser desenvolvido o projeto de arquitetura. Esta medida permitirá que haja uma maior padronização e uma redução na tipologia de módulos necessários. Reduzindo a variedade de módulos, facilita-se o processo de produção em fábrica e consegue-se uma redução de custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. J. Ribeirinho *et al.*, “The next normal in construction,” 2020. Accessed: Mar. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/~-/media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastucture/Our%20Insights/The%20next%20normal%20in%20construction/The-next-normal-in-construction.pdf>
- [2] P. M. L. Martins, “AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO NO BRASIL O Modelo de Estratificação,” 2013. Accessed: Apr. 17, 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10216/70274>
- [3] R. Lopez, P. E. D. Love, D. J. Edwards, and P. R. Davis, “Design Error Classification, Causation, and Prevention in Construction Engineering,” *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 24, no. 4, pp. 399–408, Aug. 2010, doi: 10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000116.
- [4] F. Pinto and B. Teixeira, “CONTROLO DE CUSTOS E PRAZOS PELO EMPREITEIRO EM OBRA RESIDENCIAL.” Accessed: Apr. 15, 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10216/115405>
- [5] M. A. Pinho de Oliveira, “CONFLITOS EM EMPREITADAS DE CONSTRUÇÃO Causas, Consequências e Soluções.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10216/133492>
- [6] O. Adekunle and M. K. Jha, “An Optimization Model to Address the Skilled Labor Shortage in the Construction Industry,” *International Journal of Civil Engineering*, 2024, doi: 10.1007/s40999-024-00941-w.
- [7] “Porque faltam casas em Portugal, se há menos pessoas e mais casas? – Observador.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://observador.pt/opiniaio/porque-faltam-casas-em-portugal-se-ha-menos-pessoas-e-mais-casas/>
- [8] F. Barbosa *et al.*, “Reinventing construction: A route to higher productivity,” Feb. 2017.
- [9] C. Edmonds, N. Golden, and C. McKenna, “Modular Construction for Multifamily Affordable Housing,” Feb. 2018. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: https://www.nibs.org/files/pdfs/NIBS_OSCC_EPAModular-construction_2015.pdf
- [10] C. by Eric Ottinger, H. Minglani, M. Gibson, and A. Alexander, “The four dimensions of industrialized construction,” Jun. 2020.
- [11] “Tower 15 – OODA.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://ooda.eu/work/tower-15/>
- [12] “Facade-ing Into the Future — IIDA New England.” Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.iidane.org/iida-ne-wire/facade-ing-into-the-future>

- [13] “Vigas I | Prefabricados Teide.” Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://prefabricadosteide.com/vigas-i/>
- [14] N. Bertram, S. Fuchs, J. Mischke, R. Palter, G. Strube, and J. Woetzel, “Modular construction: From projects to products,” Jun. 2019.
- [15] J. Costa, “PROPOSTA DE UM MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013. Accessed: Apr. 11, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/107303>
- [16] “Saving Time and Money With Bathroom Pods - BASE4.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.base-4.com/saving-time-and-money-with-bathroom-pods/>
- [17] V. Tavares, J. Gregory, R. Kirchain, and F. Freire, “What is the potential for prefabricated buildings to decrease costs and contribute to meeting EU environmental targets?,” *Build Environ*, vol. 206, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108382.
- [18] M. Dave, B. Watson, and D. Prasad, “Performance and Perception in Prefab Housing: An Exploratory Industry Survey on Sustainability and Affordability,” in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 676–686. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.227.
- [19] “2023 World Steel in Figures,” Brussels, Belgium, 2023.
- [20] “What is steel? - worldsteel.org.” Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <https://worldsteel.org/about-steel/what-is-steel/>
- [21] J. Somers, “Technologies to decarbonise the EU steel industry,” Luxembourg, 2021. doi: 10.2760/069150.
- [22] “Perfis Estruturais | Ferro — Grupo Ferpinta.” Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <https://ferro.pt/produtos/perfis-estruturais/>
- [23] V. Sadkovyi *et al.*, *FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE AND STEEL STRUCTURES*. PC TECHNOLOGY CENTER, 2021. doi: 10.15587/978-617-7319-43-5.
- [24] S. B. Singh and A. Sethi, “A review of performance of fibre reinforced polymer strengthened structures under fire exposure,” Sep. 01, 2017, *Indian National Science Academy*. doi: 10.16943/ptinsa/2017/48972.
- [25] F. Wald, “FIRE ENGINEERING OF STEEL STRUCTURES”.
- [26] “Sika® Unitherm® Platinum | Pintura Intumescente.” Accessed: Mar. 27, 2024. [Online]. Available: <https://bra.sika.com/pt/construcao/revestimento-de-protecao/protecao-passivacontrafogo/pintura-intumescente/sika-unitherm-platinum.html>
- [27] “Fire Protection | American Institute of Steel Construction.” Accessed: Mar. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.aisc.org/why-steel/resources/fire-protection/>

- [28] “Soluções em Pintura Intumescente e Engenharia | ChromaTech - Pintura Intumescente.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://chromatech.eng.br/pinturaintumescente/>
- [29] “Intumescent Paint | Everything You Need to Know | by FlameOFF® Coatings | Medium.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://flameoffcoatings.medium.com/intumescent-paint-everything-you-need-to-know-c0068f8be44d>
- [30] “PROMATECT® 250 | Architecture & Design.” Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.architectureanddesign.com.au/suppliers/promat-australia/promatect-250>
- [31] A. -biofire, “Protecção de estruturas Protecção Passiva Contra Incêndios”.
- [32] D. T. Butry, “Comparing the performance of residential fire sprinklers with other life-safety technologies,” *Accid Anal Prev*, vol. 48, pp. 480–494, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.aap.2012.03.006.
- [33] “Composite Deck - Canam.” Accessed: Jul. 27, 2024. [Online]. Available: https://www.canam.com/en/product/composite-deck/?_gl=1%2Ahjlqlf%2A_up%2AMQ..%2A_ga%2AMTgyNjgwMjk4OC4xNzE2MjE0Njkx%2A_ga_87740FM0YD%2AMTcxNjIxNDY4Ny4xLjAuMTcxNjIxNDY4Ny4wLjAuMA..%2A_ga_0KJZ9QF0HP%2AMTcxNjIxNDY4OS4xLjAuMTcxNjIxNDY4OS4wLjAuMA..%2A_ga_TKPWVH0Z7Z%2AMTcxNjIxNDY4OS4xLjAuMTcxNjIxNDY4OS4wLjAuMA
- [34] “Welcoming Resource Center featuring ASC Steel Deck’s product.” Accessed: Jul. 26, 2024. [Online]. Available: <https://ascsd.com/project-details/welcoming-resource-center/>
- [35] “TANIVA - STEEL DECK DETAILING SERVICE.” Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://tanivaengineering.com/steel-deck-detailing.html>
- [36] B. Markham and E. Ungar, “Sound Isolation and Noise Control in Steel Buildings 30 Steel Design Guide,” 2015.
- [37] “Corrosion protection - SteelConstruction.info.” Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: https://steelconstruction.info/Corrosion_protection
- [38] “EU climate targets: how to decarbonise the steel industry - European Commission.” Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/eu-climate-targets-how-decarbonise-steel-industry-2022-06-15_en#_ftn
- [39] “Iron and Steel Technology Roadmap – Analysis - IEA.” Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>
- [40] Rita Roma Torres Leite de Castro, “Análise da Sustentabilidade de Estruturas: Aço vs Betão,” Universidade do Minho, 2012.
- [41] W. Swann, “Developing a low-carbon, circular economy for steel,” *The Structural Engineer*, pp. 18–19, 2021. doi: <https://doi.org/10.56330/DPLL5365>.

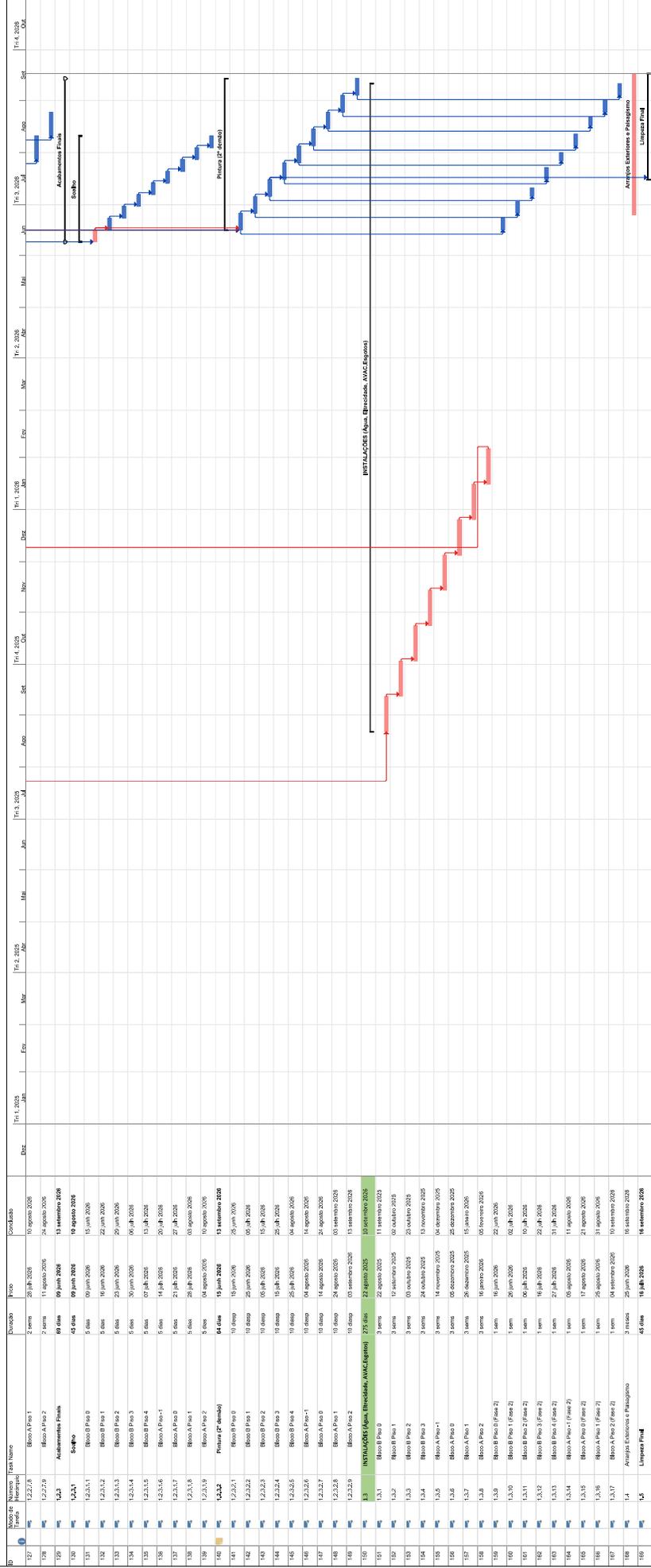
- [42] N. C. Gupta *et al.*, “Perspectives on CCUS deployment on large scale in India: Insights for low carbon pathways,” *Carbon Capture Science and Technology*, vol. 12, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.ccst.2024.100195.
- [43] “Eletrificação: o que é, vantagens e tipos? - Iberdrola.” Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/transicao-energetica/eletrificacao>
- [44] A. C. Woodard and H. R. Milner, “Sustainability of timber and wood in construction,” *Sustainability of Construction Materials*, pp. 129–157, Jan. 2016, doi: 10.1016/B978-0-08-100370-1.00007-X.
- [45] “Sustainable building systems | timber hybrid office buildings - CREE Buildings.” Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.creebuildings.com/system>
- [46] “WHY YOU SHOULD CHOOSE HAMBRO LOAD-BEARING STEEL STRUCTURES INSTEAD OF WOOD FRAME: Construction For Your Next Multi-Residential Building,” 2022.
- [47] “Minério de ferro vs Petróleo bruto - Price Rate of Change Comparison - IndexMundi.” Accessed: May 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%E7os-de-mercado/?mercadoria=min%C3%A9rio-de-ferro&meses=240&moeda=eur&mercadoria=petr%C3%B3leo-bruto>
- [48] “Another Bathroom Pod Contract Won in Manchester | Elements Europe Elements Europe.” Accessed: Jul. 08, 2024. [Online]. Available: <https://elements-europe.com/another-residential-contract-won-manchester/>
- [49] “Bathroom Pods Transport | CelluleBagno.” Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.cellulebagno.com/en/bathroom-pods-transport>
- [50] “Preço em Portugal de kg de Aço em perfis laminados a quente. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A.” Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: https://geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_0|3|EAP020|hac_eap020:_0_0_0_0_0_0_1_1_0
- [51] “Preço em Portugal de m² de Laje mista com chapa colaborante. Gerador de preços para construção civil. CYPE Ingenieros, S.A.” Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: https://geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_7|0|EHX005|ehx_005:c3_0_10_0_0_8c4_0_2_0_0_2c3_0_8c10_0_1_1c10_0_1_0_5_0_0_1c5_0_3_0_0_1c3_0
- [52] “(31) Alvenaria em estrutura metálica | Como garantir a amarração dos blocos? - YouTube.” Accessed: Aug. 22, 2024. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=_V6s4dVIPn4
- [53] M. Institute, “SAVING TIME WITH MODULAR BATHROOM PODS,” 2017, Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: www.modular.org
- [54] “Concrete Corrosion | Inspectioneering.” Accessed: Jul. 26, 2024. [Online]. Available: <https://inspectioneering.com/tag/concrete+corrosion>

ANEXO 1

PLANO DE TRABALHO REFERENTE À OBRAS APRESENTADAS NOS CAPÍTULO 4 E 5 (ESTRUTURA METÁLICA COM CASAS DE BANHO PRÉ-FABRICADAS E BETÃO ARMADO COM CASAS DE BANHO FEITAS TRADICIONALMENTE, RESPATIVAMENTE)

EMPREITADA: Projeto Vã das Aves
 DONO DE OBRA: GFH
 PRAZO DE EXECUÇÃO: 446 DIAS (21 MESES)

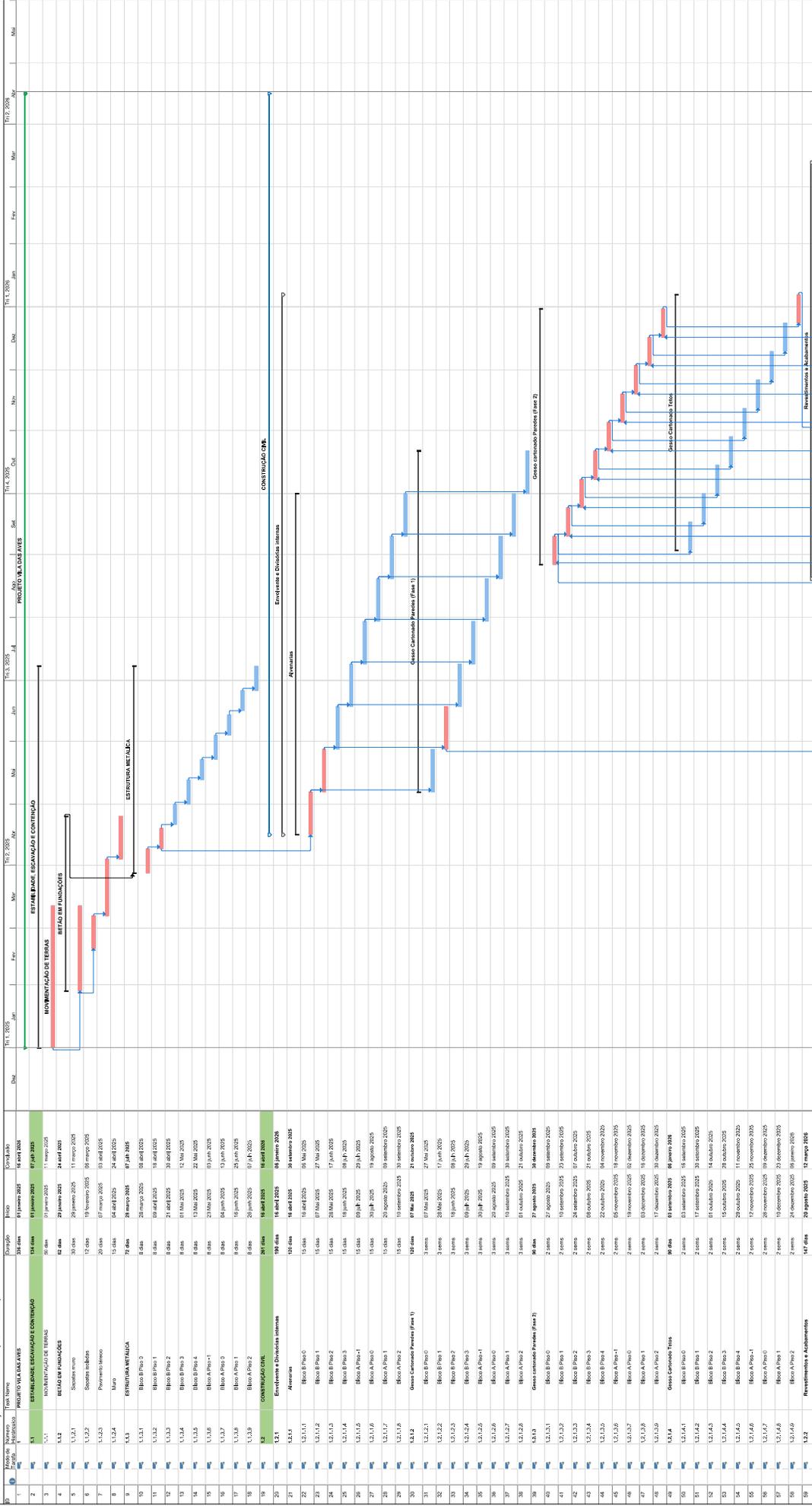
PLANO DE TRABALHOS - SOLUÇÃO EM BETÃO ARMADO (sem recurso a bathrom pods)



ID	Nome de Atividade	Tom Nome	Inicio	Fim	Condição
127	Bloco A Piso 1		26 Jun 2026	10 ago 2026	
128	Bloco A Piso 2		11 ago 2026	24 ago 2026	
129	Acabamentos Finais		09 Jun 2026	13 set 2026	
130	Stalpo		09 Jun 2026	19 ago 2026	
131	Bloco B Piso 0		09 Jun 2026	22 Jun 2026	
132	Bloco B Piso 1		16 Jun 2026	22 Jun 2026	
133	Bloco B Piso 2		23 Jun 2026	29 Jun 2026	
134	Bloco B Piso 3		30 Jun 2026	06 Jul 2026	
135	Bloco B Piso 4		07 Jul 2026	13 Jul 2026	
136	Bloco B Piso 1		14 Jul 2026	20 Jul 2026	
137	Bloco A Piso 0		21 Jul 2026	27 Jul 2026	
138	Bloco A Piso 1		28 Jul 2026	03 ago 2026	
139	Bloco A Piso 2		04 ago 2026	10 ago 2026	
140	Bloco A Piso 3		11 ago 2026	17 ago 2026	
141	Bloco B Piso 0		15 Jun 2026	15 Jun 2026	
142	Bloco B Piso 1		22 Jun 2026	22 Jun 2026	
143	Bloco B Piso 2		29 Jun 2026	29 Jun 2026	
144	Bloco B Piso 3		06 Jul 2026	06 Jul 2026	
145	Bloco B Piso 4		13 Jul 2026	13 Jul 2026	
146	Bloco A Piso 1		14 ago 2026	14 ago 2026	
147	Bloco A Piso 0		21 ago 2026	21 ago 2026	
148	Bloco A Piso 1		28 ago 2026	28 ago 2026	
149	Bloco A Piso 2		05 set 2026	05 set 2026	
150	INSTALAÇÕES (Equip. Elevador, AVAC, Espelhos)		22 ago 2026	30 set 2026	
151	Bloco B Piso 0		22 ago 2026	11 set 2026	
152	Bloco B Piso 1		29 ago 2026	18 set 2026	
153	Bloco B Piso 2		05 set 2026	25 set 2026	
154	Bloco B Piso 3		12 set 2026	02 out 2026	
155	Bloco A Piso 1		14 set 2026	04 out 2026	
156	Bloco A Piso 0		21 set 2026	11 out 2026	
157	Bloco A Piso 1		28 set 2026	18 out 2026	
158	Bloco A Piso 2		05 out 2026	05 nov 2026	
159	Bloco B Piso 0 (Fase 2)		16 Jun 2026	22 Jun 2026	
160	Bloco B Piso 1 (Fase 2)		23 Jun 2026	29 Jun 2026	
161	Bloco B Piso 2 (Fase 2)		30 Jun 2026	06 Jul 2026	
162	Bloco B Piso 3 (Fase 2)		07 Jul 2026	13 Jul 2026	
163	Bloco B Piso 4 (Fase 2)		14 Jul 2026	20 Jul 2026	
164	Bloco A Piso 1 (Fase 2)		21 Jul 2026	27 Jul 2026	
165	Bloco A Piso 0 (Fase 2)		28 Jul 2026	03 ago 2026	
166	Bloco A Piso 1 (Fase 2)		04 ago 2026	10 ago 2026	
167	Bloco A Piso 2 (Fase 2)		11 ago 2026	17 ago 2026	
168	Bloco A Piso 3 (Fase 2)		18 ago 2026	24 ago 2026	
169	Bloco A Piso 4 (Fase 2)		25 ago 2026	31 ago 2026	
170	Acabamentos e Pinturas		04 set 2026	16 set 2026	
171	Limpeza Final		25 set 2026	16 out 2026	

EMPREITADA: PROJETO VILA DAS AVES
 DONO DE OBRA: GFH
 PRAZO DE EXECUÇÃO: 336 DIAS (16 MESES)

PLANO DE TRABALHOS - SOLUÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA (com recurso a bathrom pods)



ID	Descrição	Quantidade	Unidade	Inicio	Fim	Ordem de Trabalho	Estado
1	ESTABILIZAÇÃO, REABILITAÇÃO E CONTINUAÇÃO	336 dias		16/12/2024	16/12/2024		
2	MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS	154 dias		01/01/2025	07/01/2025		
3	BATEIO DE FUNDAÇÕES	62 dias		29/01/2025	24/02/2025		
4	ESTRUTURA METÁLICA	79 dias		04/02/2025	24/03/2025		
5	ALCANTARAL	154 dias		01/01/2025	07/01/2025		
6	ENLACEMENTOS E DISTRIBUIÇÃO INTERNA	154 dias		01/01/2025	07/01/2025		
7	CONSTRUÇÃO DE PL. 1	154 dias		01/01/2025	07/01/2025		
8	Gesso cartonado Placas (Plac 1)	154 dias		01/01/2025	07/01/2025		
9	Gesso cartonado Placas (Plac 2)	154 dias		01/01/2025	07/01/2025		
10	Gesso cartonado Placas (Plac 3)	154 dias		01/01/2025	07/01/2025		
11	REVESTIMENTO E ACABAMENTOS	147 dias		12/02/2025	12/05/2025		

EMPREITADA: PROJETO VILA DAS AVES
 DONO DE OBRA: GFH
 PRazo DE EXECUÇÃO: 336 DIAS (16 MESES)

PLANO DE TRABALHOS - SOLUÇÃO EM ESTRUTURA METÁLICA (com recurso a bathrom pods)

