



DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO CONSTRUTIVO OFF-SITE QUE PERMITA A INDUSTRIALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

RICARDO MANUEL PINHEIRO REGO

Outubro de 2021

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO CONSTRUTIVO *OFF-SITE* QUE PERMITA A INDUSTRIALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

Ricardo Manuel Pinheiro Rego



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de TEDSE
- Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

Candidato: Ricardo Manuel Pinheiro Rego, Nº 1190040, 1190040@isep.ipp.pt

Orientação científica: José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt

Manuel João Dias Gonçalves, mdg@isep.ipp.pt

Empresa: Quadrina – Quadros Eléctricos, Lda

Supervisão: Catarina Marques, catarina.marques@quadrina.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2021

Agradecimentos

À Engenheira Catarina Marques pela orientação, supervisão, ensinamentos e confiança depositada, bem como pela oportunidade que me deu na Quadrina. Acreditou no meu potencial desde as primeiras impressões trocadas e em conversas confidenciou conselhos e valores que levo para toda a vida.

Aos professores José António Beleza Carvalho e Manuel João Dias Gonçalves pela orientação, acompanhamento e incentivo. Desde o primeiro dia que se mostraram disponíveis para me ajudar, sempre incansáveis e pacientes.

À minha mãe, a principal responsável pela minha formação, maneira de ser, estar e pensar. À minha irmã, a pessoa que melhor me conhece, o pilar fundamental. Ao meu pai, por sempre ter acreditado em mim. A eles devo tudo.

Ao Pedro Dias, ao Miguel Cruz e ao Filipe Miranda, companheiros de todos os momentos. A eles, à Marta Braga, ao Jorge Santos, à Diana Lopes, ao Ivan Oliveira, à Eliana Pereira, ao André Eiras, ao Bernardo Pires, ao Hugo Ferreira, ao César Duarte, ao Nuno Lapa, e a todos os meus amigos e colegas que, cada um a seu jeito, me acompanharam e nunca permitiram que desviasse o foco das minhas metas.

A todos os colaboradores da Quadrina e do Grupo Casais, especialmente ao Eng.º Fernando Ramos, à Eng.ª Sofia Fernandes, à Ana Queirós, ao Bruno Silva, ao Eng.º Fernando Fidalgo e à Eng.ª Elena Drogalina.

A todos os professores responsáveis pelo meu percurso no Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica, pela oportunidade e por terem sido os palcos de tantas histórias.

*“Sou um pouco de todos que conheci, um pouco dos lugares que fui,
um pouco das saudades que deixei e muito das coisas que gostei.”*

Antoine de Saint-Exupéry

“O sofrimento é passageiro, desistir é para sempre”

Lance Armstrong

Resumo

Quer seja numa perspetiva ambiental, quer económica, a industrialização da construção é absolutamente inevitável. Inerentemente relacionado com alteração do paradigma do setor da construção surge a construção *off-site* e o pré-fabrico de componentes, com impacto considerável em todas as fases de conceção, construção e manutenção de edifícios. A construção *off-site* aparece não só como uma solução para a falta de mão-de-obra verificada no setor da construção em Portugal, mas também como uma inovação capaz de reduzir o tempo e os custos de uma obra, aumentar a segurança dos trabalhadores, a qualidade do produto final e ainda contribuir positivamente a nível ambiental.

O trabalho desenvolvido consistiu na preparação, fabrico e instalação de instalações elétricas de BT pré-fabricadas, permitindo a sua industrialização, a sua aplicação na construção modular *off-site* e o estudo da sua viabilidade enquanto solução eficiente e inovadora. Inicialmente efetuou-se um estudo e dimensionamento do projeto com recurso à tecnologia BIM, seguido da preparação e montagem em ambiente dos componentes em fábrica (*off-site*) e, só após isto, a sua instalação em local de obra (*on-site*). Por fim, realizou-se o estudo do resultado prático de todo o projeto, de modo a avaliar a sua viabilidade, quando comparado com os métodos de construção tradicionais. Os resultados obtidos comprovaram os benefícios da industrialização de instalações elétricas de BT, valorizando e contribuindo para a inclusão de sistemas elétricos de rápida e fácil instalação, na construção *off-site*.

O presente relatório foi desenvolvido no âmbito da dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, do Instituto Superior de Engenharia do Porto, realizado em contexto empresarial na empresa Quadrina – Quadros Elétricos, Lda., em colaboração com outras empresas do Grupo Casais, onde está inserida.

No âmbito do trabalho foi realizado um estado de arte sobre a industrialização das instalações elétricas de BT e um caso de estudo do projeto, fabricação e instalação de paredes infraestruturadas, em 90 quartos de um hotel em fase de construção.

Palavras-Chave

Construção *off-site*, industrialização, pré-fabricação, tecnologia BIM, instalações elétricas de baixa tensão, construção modular.

Abstract

Whether from an environmental or an economic perspective, the industrialization of construction is inevitable. Inherently related to the paradigm shift in the construction sector comes the off-site construction and the pre-fabrication of components, with a considerable impact on all phases of design, construction and maintenance of buildings. Off-site construction appears not only as a solution to the lack of labour verified in the construction sector in Portugal, but also as an innovation capable of reducing the time and costs of a work, increasing the safety of workers, the quality of the final product and also make a positive contribution to the environment.

The work carried out consisted of the preparation, manufacture and installation of prefabricated LV electrical installations, allowing for their industrialization, their application in off-site modular construction and the study of their feasibility as an efficient and innovative solution. Initially, a study and design of the project was carried out using BIM technology, followed by the preparation and assembly of the components in a factory environment (off-site) and, only after that, their installation at the construction site (on-site). Finally, a study of the practical result of the entire project was carried out, in order to assess its feasibility, when compared with traditional construction methods. The results obtained proved the benefits of industrialization of LV electrical installations, valuing and contributing to the inclusion of electrical systems that are quick and easy to install in off-site construction.

This report was developed within the scope of the Master's thesis in Electrical Engineering – Electrical Energy Systems, of the ISEP (Instituto Superior de Engenharia do Porto), carried out in a business context at the company Quadrina – Quadros Eléctricos, Lda., in collaboration with other companies of the group (Grupo Casais), where it is inserted.

As part of the work, a state-of-the-art project was carried out on the industrialization of LV electrical installations and a case study of the design, manufacture and installation of infrastructure walls, in 90 rooms of a hotel under construction.

Keywords

Off-site construction, industrialization, prefabrication, BIM technology, low voltage electrical systems, modular construction.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
SIGLAS E ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTO.....	1
1.2.EMPRESA “QUADRINA”	1
1.3.OBJETIVOS	2
1.4.ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
2. INDUSTRIALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO	5
2.1.INDUSTRIALIZAÇÃO	5
2.2.PRÉ-FABRICAÇÃO E CONSTRUÇÃO <i>OFF-SITE</i>	6
2.3.INSTALAÇÕES ELÉTRICAS NA CONSTRUÇÃO <i>OFF-SITE</i>	10
2.4.TECNOLOGIA BIM	13
2.5.VERTENTE AMBIENTAL	16
3. CASO DE ESTUDO	19
3.1.ESTUDO DO PROJETO ELÉTRICO E PROTEÇÕES	19
3.1.1 DESCRIÇÃO GLOBAL.....	19
3.1.2 PROTEÇÃO E COORDENAÇÃO	22
3.2PREPARAÇÃO DO PROJETO.....	25
3.2.1 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO.....	25
3.2.2 ESTRUTURA E ESQUEMATIZAÇÃO.....	32
3.3CONCRETIZAÇÃO DO PROJETO	35
3.3.1 POSTOS E SECÇÕES	35
3.3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO	38
3.3.3 INSTALAÇÃO EM FÁBRICA.....	42
3.4ANÁLISE DA VIABILIDADE	44
3.4.1 VERIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO.....	45
3.4.2 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA SOLUÇÃO	50
4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	53
4.1.CONCLUSÕES	53

4.2. TRABALHOS FUTUROS.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS.....	61

Índice de Figuras

Figura 1 – Processo construtivo off-site, desde a pré-fabricação à conclusão da obra. Adaptado de [9].	7
Figura 2 – Cronograma do tempo poupado na construção off-site. Adaptado de [10].	8
Figura 3 – Mapa geral dos processo construtivo off-site com BIM, in [26].	15
Figura 4 – Utilização de BIM na eletrificação de um módulo off-site [27].	16
Figura 5 – Esquema elétrico dos circuitos de alimentação e tomadas.	21
Figura 6 - Esquema elétrico do circuito de iluminação.	22
Figura 7 – Tabela de características técnicas de um quadro de quarto (Q.Q.).	30
Figura 8 – Esquema da placa de madeira OSB utilizada na produção da parede infraestruturada.	32
Figura 9 – Esquema elétrico da parede infraestruturada P.INF.1.	33
Figura 10 – Esquema 3D da parede infraestruturada P.INF.1.	34
Figura 11 – Fotografia da estante de armazenamento presente na secção.	36
Figura 12 – Preparação da bancada para os trabalhos de fabricação da parede infraestruturada.	36
Figura 13 – Carrinho de suporte utilizado no armazenamento de paredes infraestruturadas finalizadas.	37
Figura 14 – Esquema do processo de fabricação das paredes infraestruturadas.	37
Figura 15 – Quadro elétrico montado.	38
Figura 16 – Parede infraestruturada em fase final de montagem.	39
Figura 17 – Quadro elétrico eletrificado.	40
Figura 18 – Ensaio de resistência de isolamento (à esq.) e ensaio de rigidez dielétrica (à dir.).	41
Figura 19 – Etiqueta de identificação de uma parede infraestruturada concluída.	42
Figura 20 – Processo de estruturação das paredes de um módulo off-site.	42
Figura 21 – Parede de WC concluída.	43
Figura 22 – Módulo off-site WC de um quarto de hotel.	44
Figura 23 – Equipamento de testes multifuncional HT FullTest 3.	45
Figura 24 – Quadro elétrico após inspeção visual.	46
Figura 25 – Realização de ensaio funcional com dispositivo fora de funcionamento.	46
Figura 26 - Realização de ensaio funcional com dispositivo em funcionamento.	47
Figura 27 – Realização de ensaio de resistência de isolamento.	47
Figura 28 – Equipamento de testes após realização de ensaio de resistência de isolamento.	48
Figura 29 – Resultado obtido de ensaio de resistência de isolamento.	48
Figura 30 - Equipamento de testes após realização de ensaio de rigidez dielétrica.	49
Figura 31 – Resultado obtido de ensaio de rigidez dielétrica.	49
Figura 32 – Chapa de características de um quadro elétrico.	50

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 – Lista de circuitos presentes na parede infraestruturada.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 2 - Proteção contra sobreintensidades e secções dos condutores (adaptado de [38])......</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 3 – Diâmetros nominais dos tubos anelados com condutores H07V-U/R (adaptado de [39]).</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 4 – Tipos de cabos utilizados na instalação elétrica da parede infraestruturada.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 5 – Tipos de cabos utilizados para cada um dos circuitos da instalação elétrica da parede infraestruturada.</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 6 – Lista de dispositivos de proteção utilizados no Q.Q.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 7 – Componentes utilizados na eletrificação interna do Q.Q.....</i>	<i>31</i>

Siglas e Acrónimos

- ATI – Armário de Telecomunicações Individual
- AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
- BIM – *Building Information Modeling*
- BT – Baixa Tensão
- CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*
- MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*
- MT – Média Tensão
- NIBS – *National Institute of Building Sciences*
- OSB – *Oriented Strand Board*
- Pdc – Poder de Corte
- PNE – Pessoas com Necessidades Especiais
- PnP – *Plug and Play*
- PT – Posto de Transformação
- QE – Quadro Elétrico
- RTIEBT – Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão
- WCED – *World Commission on Environment and Development*

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Atualmente, em Portugal, a falta de mão-de-obra tem-se mostrado um problema transversal em todos os setores da indústria e em todas as regiões do país. Com o crescimento demográfico a nível mundial prende-se cada vez mais a necessidade de inovação do setor da construção e, graças a isto, a exigência por novos métodos de fabrico, de transporte e de construção é instintiva e inevitável. Exemplo disto são a industrialização e a pré-construção *off-site* com impacto considerável em todas as fases de conceção, construção e manutenção dos edifícios. O conceito de construção *off-site* está hoje presente no setor da construção de países como França, Reino Unido, China, Austrália, Estados Unidos da América, Holanda, Japão, Suécia e Alemanha, com fortes perspetivas futuras de crescimento.

1.2. EMPRESA “QUADRINA”

Fundada em 2005, dentro de uma das mais antigas empresas de instalações elétricas do norte do país, a Quadrina é especializada no projeto e na execução e montagem de quadros elétricos. Além disto, oferece diferentes soluções de engenharia e sistemas de energia, tendo como missão o fornecimento de serviços e soluções integradas com a garantia de qualidade, confiança e eficiência. Estes serviços e soluções aplicam-se em diferentes setores, tais como ambiente, edifícios de ensino, indústria, comércio, AVAC, entre outros, contando com a colaboração de parceiros de renome nestas áreas, como *Schneider Electric, Hager, Siemens, Legrand*, entre outros.

Em 2010 integrou o Grupo Casais. Criada no ano de 1958, com a denominação “António Fernandes da Silva & Irmãos, Lda.”, a Casais é hoje uma das maiores empresas de construção em Portugal. Atua em mercados de 17 países por todo o mundo e conta com 13 empresas associadas, de diferentes áreas de especialidade na construção, onde a Quadrina se insere.

Enquanto estagiário da Quadrina, ao longo deste projeto de dissertação irei trabalhar em colaboração com algumas das empresas do Grupo Casais, bem como com soluções de sustentabilidade da própria Casais como é o caso da Blufab. Esta é o rosto do processo de industrialização que dá corpo à unidade de construção *off-site*.

1.3. OBJETIVOS

O pré-fabrico padronizado de componentes individuais como painéis com instalação elétrica que podem ser rapidamente montados no local da obra, reduzindo assim as emissões de carbono, o ruído, as poeiras e permitindo economizar tempo, recursos e dinheiro é o objetivo da industrialização da construção. O trabalho realizado tem como objetivo a produção de componentes individuais para inserir em edifícios como parte da instalação elétrica de baixa tensão e no desenvolvimento da sua linha de montagem, permitindo desta forma transformar a construção num processo de montagem de componentes que podem ser configurados de diferentes formas para atingir o resultado final. Este trabalho consistiu, então, no desenvolvimento de processos construtivos *off-site*, com a criação e implementação de componentes e sistemas elétricos em módulos técnicos, e foi dividido por quatro etapas principais. Inicialmente efetuou-se a pesquisa do que tem vindo a ser feito, sobretudo no mercado europeu, para que se pudesse realizar um estudo e dimensionamento do projeto e também um levantamento das necessidades. Numa segunda fase, com o conhecimento obtido, procedeu-se ao levantamento dos materiais necessários - quadro elétrico (QE), alimentação, tomadas, iluminação, cablagem, etc. - e à preparação dos mesmos no local. A terceira etapa implica a fabricação e montagem destes componentes (*off-site*) e sua instalação em obra (*on-site*). Na quarta e última etapa, espera-se o estudo do resultado prático de todo o projeto, de modo a avaliar a sua viabilidade, quando comparado com os métodos tradicionais.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 1 é realizada uma abordagem geral ao tema da dissertação, onde não só é explicado o contexto e intuito do trabalho realizado, bem como também é feita uma apresentação à empresa onde o estágio tem lugar e ao grupo empresarial que se insere.

No capítulo seguinte, 2, são feitos o enquadramento teórico e o estado de arte dos conceitos envolventes e indispensáveis ao caso de estudo, como a industrialização na construção, a pré-fabricação e a construção *off-site*, a industrialização das instalações elétricas, a implementação do procedimento BIM e a vertente ambiental do projeto.

No capítulo 3 é descrito todo o processo experimental deste trabalho evidenciando o estudo e dimensionamento do projeto e respetivo levantamento das necessidades, o levantamento dos materiais necessários e a preparação do projeto no local, a concretização do pré-fabrico dos componentes e a respetiva instalação e, por fim, o estudo da viabilidade de todo o projeto

No capítulo 4 estão redigidas as conclusões do trabalho, bem como os possíveis progressos e evoluções deste tema.

2. INDUSTRIALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO

2.1. INDUSTRIALIZAÇÃO

Para entender de que modo é que este projeto é um contributo para a industrialização das instalações elétricas de baixa tensão, é necessário, primeiro, entender o conceito de industrialização e de que modo ele se aplica aos setores elétricos e da construção. Entenda-se por Industrialização, um de processo modernização através do qual uma indústria se torna um setor dominante, mediante a aplicação de novos instrumentos, técnicas e processos de produção, resultando num aumento da produtividade. Desde cedo se falou na industrialização da construção, mas foi nos inícios do século XX, com a Revolução Industrial, que começaram a surgir redefinições na organização do trabalho industrial, impulsionadas por novas máquinas, que levariam a enormes ganhos de produtividade [1]. O *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, ou CIB, define a industrialização na construção como uma "racionalização dos processos de trabalho na indústria para atingir a eficiência de custos, maior produtividade e qualidade" [2]. Para a implementação deste processo de industrialização na construção, as organizações optam por estratégias diversificadas, entre as quais encontramos

a racionalização dos métodos de trabalho; a padronização dos componentes e módulos, a fim de viabilizar a produção em escala; a coordenação modular entre os componentes, entre módulos e entre subsistemas construtivos; a pré-fabricação de componentes ou, preferencialmente, subsistemas e módulos de edifícios; entre outras [1].

Graças às diferentes realidades em cada país, os entendimentos sobre a industrialização da construção e o seu método de aplicação podem ter algumas diferenças. A França, por exemplo, investe em componentes estruturais universais, os Estados Unidos da América optam pela produção em massa e no Reino Unido a instalação, a mecanização e a automação passam por um plano conciso de construção e gestão. Contudo, ainda que com diferentes visões sobre a industrialização na construção, estes e outros países que apostaram na industrialização da construção mantêm a mesma visão relativamente aos métodos de construção com projetos padronizados e componentes pré-fabricados. Esta aposta indica que é possível reduzir o período de construção, melhorar a qualidade da engenharia, aumentar a produtividade do trabalho, economizar energia e reduzir a poluição. A industrialização da construção é, portanto, a tendência inevitável na indústria da construção [3].

É na pré-fabricação de componentes elétricos para construção *off-site* que todo este projeto se vai basear e, embora a pré-fabricação de alguns elementos de construção tenha sido adotada pelo mercado da construção de habitações, os métodos convencionais de construção no local ainda dominam esta indústria pelo que, quando comparada com as indústrias mais automatizadas, percebe-se que ainda há muito espaço para melhorias nas práticas de construção atuais. De modo a implementar a industrialização da construção atual, uma boa parte do setor analisou os esforços anteriores nesta área e olhou para os processos de manufatura automatizados utilizados noutras indústrias [4]. Considerou-se assim, que a pré-fabricação e a construção *off-site* são os primeiros graus de industrialização que podem ser implementados na indústria da construção e é precisamente isto que o subcapítulo seguinte aborda.

2.2. PRÉ-FABRICAÇÃO E CONSTRUÇÃO *OFF-SITE*

Para ser possível abordar a industrialização de instalações elétricas de baixa tensão é necessário, primeiro, entender os conceitos de pré-fabricação e de construção *off-site* e de que modo estes se relacionam. Pré-Fabricação é definida como o processo de fabricação e planeamento da instalação de componentes num ambiente controlado, onde diferentes materiais são trabalhados e conjugados resultando nesses componentes finais [5], [6]. Este é um conceito que já existe há

vários anos, contudo, nas últimas décadas com o surgimento de novas tecnologias e o uso de *Building Information Modeling* (BIM) foram sendo melhoradas as relações de coordenação entre os diferentes intervenientes, dando origem a uma nova tendência na indústria da construção [7].

Relativamente à construção *off-site*, é contrária à construção em local de obra (*on-site*) e, segundo o *National Institute of Building Sciences* (NIBS), dos Estados Unidos da América, "a construção *off-site* envolve o processo de planeamento, projeto, fabricação, transporte e montagem de elementos de construção para rápida montagem local com um maior grau de acabamento que na construção tradicional em obra". Um edifício *off-site* inclui uma elevada diversidade de métodos de fabrico, materiais, escalas e sistemas, softwares e inovações sociais e tecnológicas, e pode ser feito através de componentes, painéis e módulos implementados em diferentes sistemas de serviços [8]. Em suma, a construção *off-site* está relacionada à pré-fabricação nos aspetos gerais de planeamento, projeto, fabricação e montagem os elementos numa localização diferente da definitiva, com a substancial diferença de que não é especificado como estes componentes produzidos se irão conectar ou interligar. Assim, entende-se que a construção *off-site* se refere ao local (Onde?) e a pré-fabricação ao método (Como?) [7]. Todo este processo está ilustrado na imagem da figura 1.

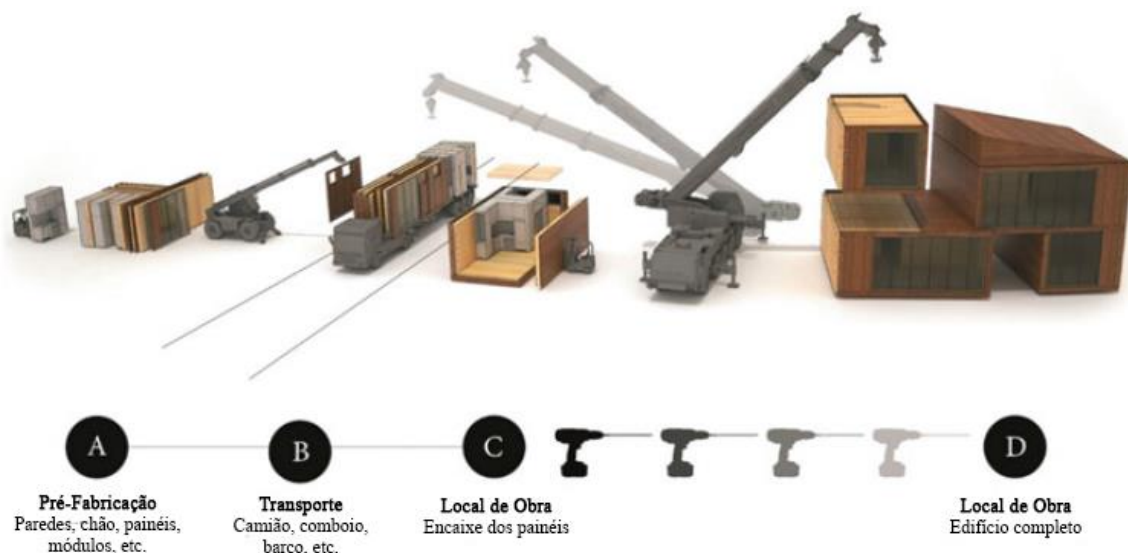


Figura 1 – Processo construtivo *off-site*, desde a pré-fabricação à conclusão da obra. Adaptado de [9].

O crescimento da construção *off-site* é justificado pelas diferentes vantagens identificadas pela indústria que, cada vez mais, aposta neste tipo de solução. Estas vantagens, indicadas abaixo,

não beneficiam apenas as organizações a nível financeiro, como também incidem em questões de segurança e proteção, qualidade, produtividade, sustentabilidade, entre outros, e são transversais às diferentes técnicas de construção *off-site* [10].

✓ Tempo

A capacidade de reduzir o tempo de uma obra e a gestão da calendarização da mesma é uma das principais vantagens da construção *off-site*. A capacidade de desenvolvimento do local de obra e das fundações em simultâneo com o fabrico de módulos em fábrica (figura 2), bem como o risco de atrasos provocados por condições climáticas, vandalismo e outros fatores externos, permite a esta metodologia a redução do tempo de construção no local, maior rapidez na entrega do produto e redução no tempo de gestão do projeto. Assim sendo, o alívio do congestionamento de tarefas resulta numa calendarização mais previsível e reduzida podendo, deste modo, a construção *off-site* poupar cerca de 40% do tempo quando comparado com o tempo de uma construção tradicional [10],[11],[12].

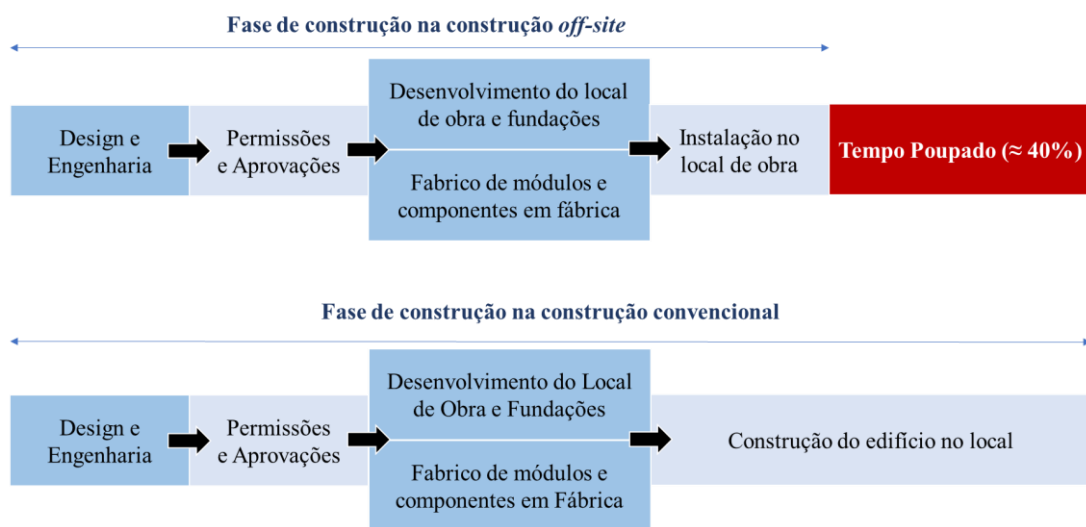


Figura 2 – Cronograma do tempo poupado na construção *off-site*. Adaptado de [10].

✓ Custos

A construção *off-site* pode apresentar um custo geral mais reduzido que os métodos tradicionais de construção, por diversos fatores. Esta prática apresenta-se com maior facilidade de instalação, com menor necessidade de recurso a trabalhadores em obra e transporte de maquinaria, com menor sujeição às imprevisibilidades climáticas e com

maior eficiência energética e na instalação. A redução da mão-de-obra não só se apresenta benéfica a nível económico, como contribui para a resolução do problema já mencionado anteriormente da falta de mão-de-obra não qualificada em Portugal. Também a necessidade dos trabalhadores qualificados pode reduzir *on-site*, uma vez que a grande parte do seu trabalho é feito *off-site* (design, planeamento e projeto), sendo apenas necessários em obra para a montagem de componentes técnicos, de que são exemplo as ligações elétricas de todo o projeto elétrico. Deste modo, todos estes fatores conjugados contribuem para a redução de custos preliminares, custos de eventuais atrasos de obra e custos salariais e de transporte, ou seja, para o custo geral de toda a obra [8], [10], [13].

✓ **Segurança e Proteção**

Se é verdade que atualmente haja legislação que obrigue a tornar os locais de obra como espaços de trabalho o mais seguro possíveis, também é do conhecimento geral que estes são locais de elevado risco de acidentes. Não só graças à redução dos custos em profissionais contratados, mas também com a diminuição do seu tempo em obra, a construção *off-site* promove a redução do congestionamento dos trabalhadores em local de obra e a sujeição destes a más condições climatéricas, trabalhos pesados, atividades perigosas e acidentes de trabalho. Para além disto, o trabalho *off-site* torna possível o acesso rápido e fácil a componentes e equipamentos utilizados pelos trabalhadores, evitando as deslocações que acontecem num local de obra [10], [13]. Segundo *Lawson et al.* (2012), quando este tipo de construção é aplicado, os acidentes em local de obra reportados podem ser reduzidos até 80%, quando comparados com a construção *on-site* [14].

✓ **Qualidade**

Será de esperar que a utilização de processos e operações repetitivas, maquinaria automatizada e produtos de maior qualidade que não estejam sujeitos a poeiras, terras e outras partículas, permita a obtenção de um produto final de qualidade superior. A construção *off-site* não só garante um maior controlo da qualidade do produto, como de todo o projeto em si, graças à possibilidade da realização de testes de qualidade antecipados em fábrica e a uma maior supervisão em cada passo do processo de fabricação [10], [11], [13].

✓ **Sustentabilidade**

A construção *off-site* oferece ainda benefícios a nível ambiental. Um dos mais importantes fatores que tornam isto possível é a redução de lixo produzido, motivada pela maior precisão

na compra, planeamento e corte de materiais, bem como pela possibilidade de reciclagem dos mesmos. Acrescentando a isto, o ambiente de construção em fábrica impulsiona a redução do consumo de água, a capacidade de incorporar materiais e componentes mais amigos do ambiente e ainda a redução substancial da emissão de gases poluentes devido à menor necessidade de transporte de materiais de e para o local de obra. Neste (em local de obra) também são sentidas as alterações mais sustentáveis com a aplicação da construção *off-site*, uma vez que nele passam a ocorrer menos perturbações - como ruídos e poeiras - ao contrário da construção convencional [8], [10].

Atendendo às necessidades dos clientes, as organizações que optam pela construção *off-site* devem procurar responder a questões relacionadas com projeto, desenvolvimento do mesmo, detalhes, pedidos, fabrico, entrega e montagem [15]. Existem atualmente quatro métodos de aplicação das técnicas de pré-fabrico na construção *off-site*: edifícios modulares completos com serviços integrados; pré-montagem volumétrica ou módulos pré-montados, como casas de banho e outras divisórias; pré-montagem não volumétrica ou placas infraestruturadas, para distribuição horizontal ou vertical de tubulação hidráulica, cablagem elétrica e condutas de ar; e componentes unitários de pré-montagem, como acessórios sanitários e janelas [8], [12]. Uma vez que o foco deste projeto é a instalação de equipamentos elétricos (como iluminação, tomadas, quadros elétricos, entre outros) nestes componentes pré-fabricados em *off-site*, esta temática é abordada no subcapítulo seguinte.

2.3. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS NA CONSTRUÇÃO *OFF-SITE*

De entre os diferentes sistemas que constituem uma construção modular pré-fabricada, a literatura indica a inclusão da componente elétrica nos sistemas MEP - *Mechanical, Electrical and Plumbing* (mecânicos, elétricos e de canalização). A pré-fabricação de sistemas MEP para aplicação em módulos é uma das tecnologias que pode melhorar significativamente a produtividade de um projeto *off-site* e, tal como os diferentes componentes internos dos módulos, os serviços e equipamentos MEP são integrados numa pré-montagem *off-site*, para fácil instalação no local. Para que esta instalação ocorra com sucesso, é necessário garantir que todos os componentes MEP incluindo tubulação, caminhos de cabos e condutas de ventilação estejam corretamente dimensionados e posicionados, antes da instalação do módulo no local [16], [17].

Os serviços MEP podem ser divididos em três grupos consoante a sua complexidade [16]:

- ✓ Componentes MEP pré-fabricados, como por exemplo tubagem pré-isolada e tomadas *Plug and Play* (PnP);
- ✓ Subconjuntos, grupo que pode ser ainda dividido em subconjuntos com serviços MEP apenas e subconjuntos integrados em componentes arquitetónicos ou estruturais;
- ✓ Montagens integradas, de que são exemplos as salas de máquinas modulares, para incorporação em edifícios.

Este projeto consistiu na criação e implementação de componentes e sistemas elétricos em módulos técnicos, tratando-se assim de um caso empreendedor de serviços MEP, do tipo de subconjuntos integrados em componentes estruturais. Antes de avançar para o estudo e dimensionamento do projeto foi necessário, perceber de que modo é que a componente elétrica afeta este tipo de construções. Percebeu-se que a construção *off-site*, pré-fabricada, permite um pensamento totalmente diferente sobre todo o processo de construção de uma casa, ou outro edifício, incluindo obviamente os circuitos elétricos. A adoção de uma abordagem diferente para a criação de produtos de construção requer conformidade com os regulamentos inerentes e respetivas questões de operação e manutenção. Quando, na construção *off-site*, se fala por exemplo em construção modular volumétrica, sabe-se que esta apresenta diversas opções para a implantação e teste de serviços elétricos. Assim, esta tecnologia compreende simplesmente um sistema de dispositivos elétricos interconectados (ou seja, unidades de consumo, interruptores, tomadas, etc.) ligados por meio de subconjuntos pré-fabricados e previamente testados que podem consistir simplesmente em cabos e fichas macho/fêmea. Para além disto, os sistemas elétricos implementados em produtos modulares volumétricos são normalmente instalados como circuitos radiais, ao contrário dos circuitos em anel, que são mais comuns na construção tradicional, para tomadas. Ao contrário de um edifício construído convencionalmente, a solução técnica que melhor se ajusta ao produto modular volumétrico é baseada no uso de subconjuntos pré-fabricados que são totalmente testados na origem, podendo os mesmos ser implementados apenas em circuitos designados, de acordo com a função a que se destina. Em termos práticos, para qualquer circuito elétrico radial (que pode ter uma série de dispositivos conectados a ele) instalado numa construção modular *off-site*, os trabalhadores semiquilificados simplesmente fazem uma série de ligações macho-fêmea para estabelecer a

ligação da alimentação aos diferentes componentes (tomadas, interruptores a uma tomada; luminárias, etc) [12], [18].

Para a aplicação de todos os componentes ou integrantes de edifícios pré-fabricados, devem ser desenvolvidos pelo pré-fabricante, qualificado para tal, de modo a garantir que sejam aplicáveis ao projeto. Testes e inspeções dos sistemas elétricos e de suporte devem ser conduzidos de acordo com as respetivas especificações técnicas e códigos de prática. Estes incluem a conformidade do material com os requisitos regulamentares, especificações do projeto, testes de continuidade, teste de resistência de isolamento e teste de sequência de fases. Caso os componentes não atendam aos requisitos de desempenho, as retificações devem ser realizadas em conformidade, antes da entrega dos módulos [16], [19], [20]. Em Portugal, as normas de instalação e segurança a observar nas instalações elétricas de baixa tensão, aplicáveis a edifícios pré-fabricados, são as “Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão” (RTIEBT) da Portaria n.º 949-A/2006 *in* [20].

A distribuição de instalações elétricas em componentes pré-fabricados apresenta inúmeras vantagens, algumas delas (mencionadas acima) associadas à construção *off-site*. De entre as várias, destacam-se: o uso mais eficiente do espaço, uma vez que os equipamentos elétricos são projetados para dimensões mais compactas e incorporados na estrutura pré-fabricada; a redução do prazo de entrega, uma vez que a pré-montagem dos equipamentos elétricos em fábrica permite reduzir o tempo da sua instalação no local; a redução dos riscos, não só porque ao evitar os atrasos na calendarização se evita também a criação de perdas, mas também porque tanto a pré-fabricação como a instalação no local, ocorrem de maneira mais segura e em ambientes controlados; a simplificação da instalação graças à configuração ao acesso permanente de energia desde o início do processo construtivo e à possibilidade do fabricante dos componentes elétricos ser também o instalador dos mesmos, esclarecendo ainda mais o escopo do trabalho. Além destes benefícios destacam-se outros já mencionados, comuns aos diferentes processos de construção *off-site*, como redução do impacto no ambiente, valorização do controlo da qualidade e redução da mão-de-obra [21].

No futuro das instalações elétricas na pré-fabricação, espera-se que a eletricidade se junte e colabore com outros setores da construção onde algumas empresas já estão a integrar componentes elétricos pré-fabricados, como painéis e pacotes de iluminação, em compartimentos modulares construídos por empresas de construção. Foi precisamente com esta retórica que este projeto foi criado, com a colaboração da Quadrina enquanto empresa de

engenharia e sistemas de energia, e da Casais enquanto empresa/grupo de renome no setor da construção.

2.4. TECNOLOGIA BIM

O avanço na construção percorreu um longo caminho nos últimos dois mil anos, com uma pesquisa contínua do melhoramento ferramentas que aprimorem o design, no processo pré-construtivo. Exemplo disto é o BIM, sigla originária de *Building Information Modeling*, uma representação digital dos requisitos de construção que fornece métodos mais eficazes de planeamento, projeto, manutenção e gestão. Esta tecnologia consiste numa reserva de informação coletiva de um ativo formando uma base consistente para várias decisões de seu ciclo de vida, desde seu estudo de viabilidade inicial até a demolição. Embora a noção de BIM tenha sua origem desde 1970, mesmo com diferentes terminologias, a sua utilização começou a ganhar mais força na última década com o surgimento de *softwares* como o *ArchiCAD* da *Graphisoft* que suporta 2D e 3D, o primeiro na implementação do BIM. A literatura tem demonstrado a eficácia do BIM para reduzir várias perdas de construção, custos, atrasos e, assim, aumentar a produtividade. Com um modelo BIM com uma relação espacial e temporal coerente entre os artefactos de construção, a análise combinada de diferentes fluxos é viável. Reduzir o retrabalho, aumentar a produtividade, diminuir os custos de mão-de-obra e melhorar a consistência do produto do trabalho são as grandes vantagens da utilização do BIM que, com o passar dos anos foi evoluindo e sendo reconhecido por muitos governos e indústrias [22]–[25].

O processo de pré-fabricação e construção *off-site* requer o apoio integral de muitas partes interessadas - arquitetos, engenheiros, projetistas, eletricitas, operários e motoristas, entre outros, para garantir produtos de qualidade adequados ao trabalho, devidamente embalados e rotulados e entregues atempadamente com o método adequado para facilitar o processo de receção e instalação. A integração de todos esses negócios coloca o BIM como a principal ferramenta de pré-fabricação. No entanto, o sucesso do BIM na construção *off-site* depende não apenas de sua capacidade de visualização 3D, mas também de capturar as informações corretas necessárias para vários interessados e a troca digital padronizada e comunicação entre as profissões. A sua utilização permite, também, que a pré-fabricação estenda o seu domínio para projetos mais complexos, como hospitais, residências multifamiliares acessíveis, prédios de faculdades e salas de aula de ensino fundamental e médio, residências universitárias, prédios de consultórios médicos, laboratórios, hotéis, residências para idosos e outros edifícios tipos

com vários componentes repetitivos, serialização e modularidade [25], [26]. A implementação de sistemas BIM em construção modular normalmente envolve o seguinte processo [25]:

- ✓ Visualização: capacidade de criar uma apresentação 3D da geometria dos módulos do edifício, localização, espaço e sistemas inter-relacionados;
- ✓ Modelagem: capacidade de gerar uma ferramenta de renderização 3D para apresentar o produto final e acabamentos aos proprietários, projetistas e construtores;
- ✓ Revisões de normas: permite que oficiais de construção e bombeiros possam usar os modelos 3D com dados relacionados para revisões de conformidade das normas;
- ✓ Desenhos de fabricação: facilita para a geração de desenhos de fábrica detalhados que podem ser facilmente produzidos assim que o modelo BIM seja concluído;
- ✓ Comunicação: facilita simultaneamente a criação de documentos de construção, imagens de produtos, protótipos rápidos, envelope externo, acabamento interno e acessórios MEP de módulos de construção promovendo a colaboração entre a equipa de design, consultor, construtores e os seus clientes;
- ✓ Estimativa de custos: fornece estimativas de custos, quantificações de materiais e preços a serem gerados e modificados automaticamente enquanto as mudanças são aplicadas para cada módulo de construção;
- ✓ Sequências de construção: fornece um cronograma de construção completo para pedido de material, fabricação, entrega e instalação no local de cada edifício;
- ✓ Detecção de conflito, interferência e colisão: capacidade de determinar as interferências do sistema predial que podem ser apresentadas visualmente.

É agora mais fácil entender de que modo acontece todo o processo construtivo *off-site*, com as diferentes fases de utilização dos diferentes *softwares* de tecnologia BIM, como explícito no diagrama da figura 3.

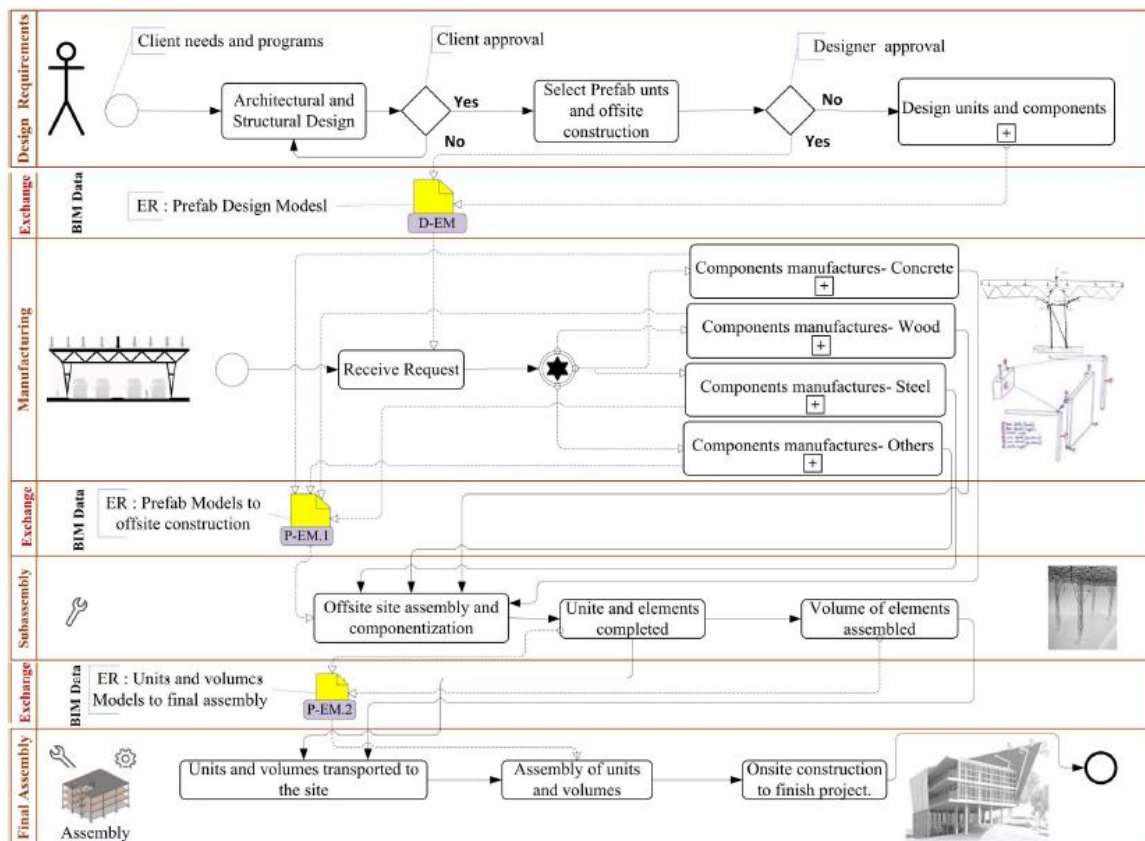


Figura 3 – Mapa geral dos processo construtivo *off-site* com BIM, in [26].

Relativamente à componente elétrica da construção *off-site* ela inclui-se, como foi referido anteriormente, nos sistemas MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*), juntamente com a componente mecânica e com a tubagem. A necessidade de coordenação dos sistemas MEP surge da falta de um projeto detalhado fornecido para a fabricação e instalação de sistemas de construção, e existe independentemente do processo de entrega do projeto usado. As condições atuais na indústria de design e construção impulsionam a prática atual para a coordenação MEP. O uso da tecnologia BIM criou uma oportunidade para melhorar o processo atual, mudando a maneira como os engenheiros eletrotécnicos e empreiteiros de construção interagem uns com os outros durante o processo de coordenação. Também nos sistemas MEP, o BIM oferece às partes envolvidas a oportunidade de alinhar objetivos e definir requisitos durante a construção do modelo [24], [25]. A figura 4 representa a utilização de tecnologia BIM na eletrificação de um módulo de construção *off-site* para aplicação como quarto de hotel.

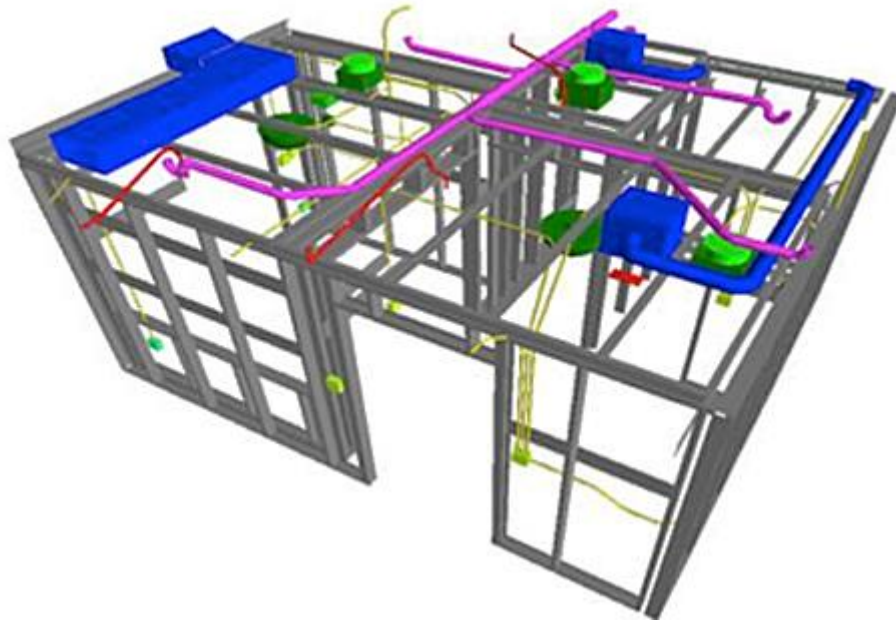


Figura 4 – Utilização de BIM na eletrificação de um módulo *off-site* [27].

A tecnologia BIM inclui-se também no presente projeto, através do *software Revit* da empresa *AutoDesk*, como ferramenta para desenho e modelação 3D dos equipamentos produzidos.

2.5. VERTENTE AMBIENTAL

O setor da construção, além de ter um peso representativo na economia, é também um indicativo de evolução de um país. Contudo é uma indústria poluente e os impactos ambientais causados acontecem praticamente em todas as etapas de sua cadeia produtiva, começando logo com a degradação na extração de matéria-prima, sendo o setor responsável por grande parte dos recursos naturais extraídos, entre 15 e 50 %. Além disto, a elaboração de materiais de construção é responsável por inúmeros impactos, específicos de cada processo produtivo, como a libertação de gases poluentes e a criação de resíduos em quantidades excessivas [28].

Em 1987, com a crescente preocupação ambiental, foi criado o conceito de desenvolvimento sustentável, pelo *World Commission on Environment and Development* (WCED), e que basicamente referia que “desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. Embora atualmente o conceito de sustentabilidade se mantenha como uma das prioridades da grande maioria dos países, a verdade é que o ser humano continua a utilizar uma maior quantidade de recursos do que aquela que o planeta consegue criar e, ao ritmo levado,

espera-se que em 2050 esta taxa de utilização atinja o dobro da capacidade de regeneração. Assim, parece que caminhar em direção à sustentabilidade ambiental é um processo inevitável e usar um método de construção sustentável é um dos fatores que podem ajudar a atingir esse objetivo [9], [29], [30].

A necessidade da utilização de um tipo de construção, como é o caso da construção *off-site*, começa no uso eficiente de materiais nas fases de pré-uso, uso, e após o uso do edifício, onde devem ser considerados parâmetros como reciclagem, redução do uso de materiais, uso eficiente de recursos (como água, terra e recursos energéticos) e o efeito sobre os ecossistemas envolventes. Deste modo, graças ao seu contributo, o argumento para uma construção mais sustentável parece dar força ao investimento na construção *off-site* que, segundo a literatura, demonstrou ser 50% mais eficiente em termos de uso de energia, água e matéria-prima, com aproximadamente 30-70% menos impactos ambientais, 65% menos geração de resíduos e 35% menos emissões de CO₂, podendo mais uma vez concluir que esta é uma alternativa mais amiga do ambiente quando comparada com os métodos de construção tradicionais [9],[31],[32],[33].

Esta foi também uma temática que recebeu o devido enfoque no caso de estudo do presente projeto, realçando a utilização de materiais sustentáveis, a tentativa de incorporação de iniciativas verdes, a redução do consumo de água e a redução de perturbações em local de obra.

Neste capítulo foi feita uma abordagem à industrialização de instalações elétricas em BT, com contributos importantes sobre o estado de arte da industrialização na construção, os conceitos de construção *off-site* e pré-fabrico, o desenvolvimento de instalações elétricas na construção *off-site*, a implementação da tecnologia BIM e da modelação 3D e, finalmente, a vertente ambiental deste tipo de construção. Esta abordagem permitiu entender melhor o enquadramento do caso de estudo desta dissertação, definindo não só os conceitos chave como os benefícios que se espera obter na implementação de instalações elétricas em BT, através da fabricação de paredes infraestruturadas. No capítulo seguinte inicia-se, portanto, o caso de estudo da produção e instalação destas paredes infraestruturadas.

3. CASO DE ESTUDO

3.1. ESTUDO DO PROJETO ELÉTRICO E PROTEÇÕES

O intuito primordial desta dissertação é o desenvolvimento de uma parede infraestruturada que servirá como instalação elétrica de baixa tensão. Para o arranque do projeto foi essencial estudar o projeto de arquitetura e o projeto elétrico da obra, bem como dimensionar o QE e a cablagem necessários a aplicar num quarto de hotel *standard*. Sendo esta uma infraestrutura inovadora e diferenciada das instalações elétricas utilizadas em obra tradicional optou-se, então, pela criação de um projeto-piloto de modo a ser possível entender os materiais necessários, os tempos e modos de fabricação, montagem e instalação e, por fim, o estudo da sua viabilidade.

3.1.1 DESCRIÇÃO GLOBAL

Após a aprovação da viabilidade do projeto-piloto, o produto final deste projeto servirá para a implementação na construção modular de um hotel em Oeiras, no distrito de Lisboa. Este edifício contará com 4 pisos (Piso -1, Piso 0, Piso 1 e Piso 2), com um total de 93 quartos divididos entre 90 quartos *standard*, 2 quartos triplos e 1 quarto para pessoas com necessidades especiais (PNE). Os quartos *standard* apresentam uma dimensão aproximada de 23m² e a instalação elétrica, de cada um deles, será constituída por: quadro elétrico, iluminação e alimentação e tomadas.

✓ Quadro Elétrico

O quadro elétrico é essencial para o bom funcionamento de toda instalação elétrica. Os quadros elétricos de cada quarto, denominados “Q.Q.”, irão ser alimentados pelo quadro do piso respectivo e estão destinados a proteger, comandar e controlar todos os circuitos: iluminação, tomadas e alimentação. O quadro deve ser construído de acordo com as RTIEBT, deve ser da Classe II de isolamento ou isolamento equivalente (secção 531.2.4 das RTIEBT) [20]. Este será eletrificado de acordo com a norma EN 61439 e do tipo modular, sendo constituído por celas de material termoplástico pré-fabricadas, interligadas entre si e constituídas com base na Norma CEI 439-1 (1995). Apresentará as seguintes características gerais:

- Incluir aparelhagem funcional e segura;
- Possuir dispositivos de encravamento eficientes, de modo a garantir a segurança das pessoas;
- Permitir a instalação fácil e segura;
- Garantir facilidade de manobra, exploração e conservação;
- Permitir facilidade de ampliação.

O QE terá ainda de cumprir a NP EN 60529 que regulamenta as classes de proteção que os seus invólucros deverão assegurar contra a penetração de sólidos e líquido e as normas EN 50102 e EN 50102/A1, que regulamentam as classes de proteção que os invólucros deverão assegurar contra as ações mecânicas. Ao nível dos índices de proteção, estes, não deverão ser inferiores a IP20 e IK04. Todos os quadros dos quartos serão equipados com:

- Barras de fixação destinadas a receberem as aparelhagens de comando e proteção;
- Painéis amovíveis recortados a fim de permitirem o comando da aparelhagem sem acesso às partes sob tensão. Sobre o painel, na parte frontal deverão ser colocadas etiquetas que identificarão todos os circuitos dos quadros.;
- As ligações internas dos quadros serão estabelecidas com condutores isolados H07V-K. A sua ligação e aos aparelhos, deverá ser feita por meio de ligadores e adequados ao tipo de condutor;
- Bolsa plástica a localizar junto a cada quadro, destinada a receber o esquema unifilar conforme foi executado;
- Cada circuito será identificado por etiqueta durável especificando a sua função.

Os quadros deverão ser dotados de um ligador de terra, ao qual serão ligados os condutores de proteção da instalação e as partes metálicas do quadro. As ligações ao barramento, deverão ser

efetuadas por intermédio de parafusos de aço niquelado, com aperto por porcas do mesmo material e tratamento. Os quadros serão dimensionados considerando um mínimo de 20% de espaço de reserva. A eletrificação dos quadros deverá ser efetuada de acordo com o que consta nas peças desenhadas.

✓ Alimentação e Tomadas

Os circuitos de alimentação e tomadas do quarto são distintos de outros circuitos destinados a outros fins, protegidos por diferenciais de alta sensibilidade e desligados quando necessários. Nestes estão incluídos o circuito de tomadas do WC, o circuito de tomadas do quarto, o circuito do leitor de cartão, o circuito de alimentação do frigobar e o circuito de alimentação da unidade evaporadora ou, comumente denominada de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado). Na imagem da figura 5 está representado o esquema da instalação elétrica dos circuitos de alimentação e tomadas, de um quarto *standard* do hotel, com a respetiva legenda. Este esquema elétrico contempla 1 tomada de WC, 8 tomadas de quarto (2 delas sendo tomadas USB), alimentação do frigobar e alimentação da unidade de AVAC.

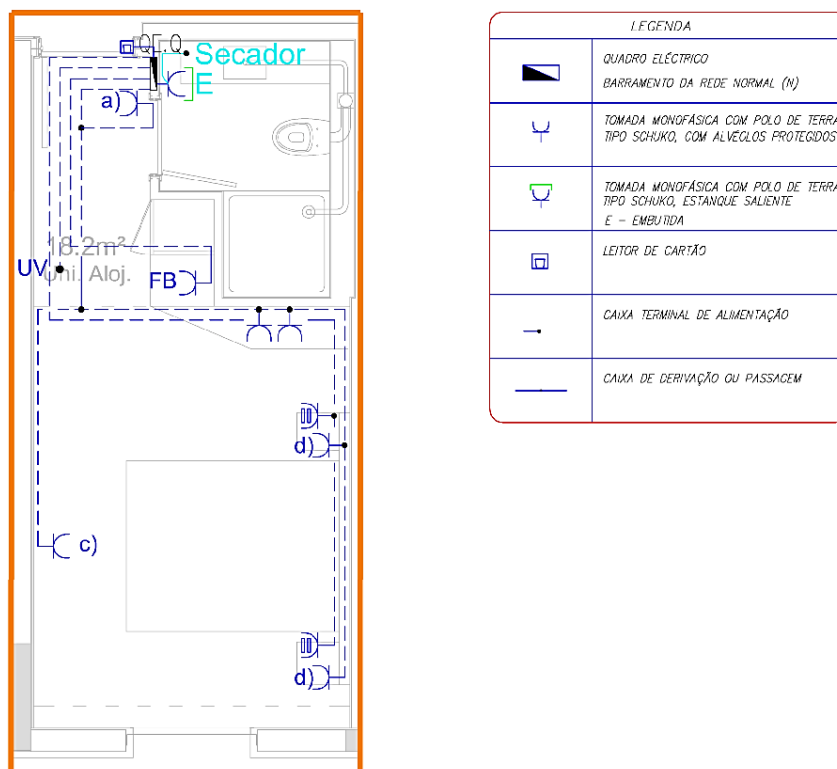


Figura 5 – Esquema elétrico dos circuitos de alimentação e tomadas.

✓ Iluminação

O comando de iluminação será feito por intermédio de interruptores, e contactores inseridos nos quadros. Sendo este um quarto de hotel *standard*, o projeto elétrico (figura 6) contempla a iluminação suficiente para o hóspede nas zonas de principal utilização: cama, janela, WC e corredor. Como tal foram projetados nove pontos de luz (5 *downlights*, 3 apliques de parede e 1 sanca led) e quatro comandos responsáveis pelo controle da iluminação (1 interruptor simples, 2 comutadores de escada e 1 inversor de escada).

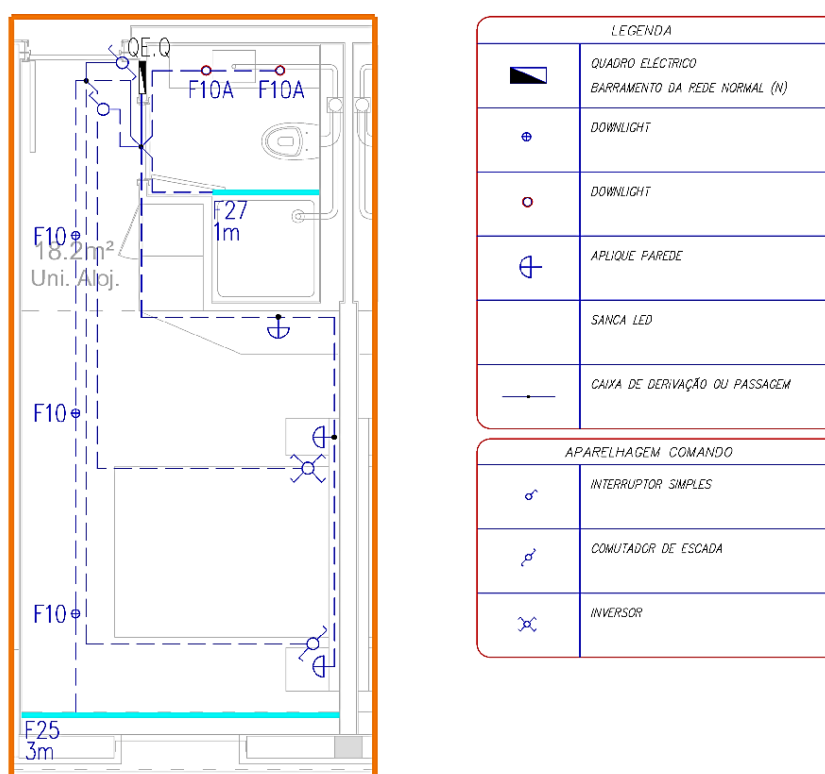


Figura 6 - Esquema elétrico do circuito de iluminação.

3.1.2 PROTEÇÃO E COORDENAÇÃO

Para o dimensionamento dos circuitos foram feitos cálculos tendo em consideração os aspetos relativos à proteção contra sobrecargas, proteção contra curto-circuitos e queda de tensão admissível. As proteções contra as sobrecargas e curto-circuitos, respeitam as RTIEBT. O valor da intensidade da corrente de curto-circuito máximo foi calculado para se definir o poder de corte (Pdc) das proteções. Também é importante referir que as proteções foram escolhidas de modo a conseguir uma boa seletividade entre elas. Este estudo da proteção contra sobreintensidades (sobrecargas e curto-circuitos), bem como o estudo da queda de tensão

admissível nos circuitos e o estudo da corrente de curto-circuito máxima, permitiram determinar quais os circuitos finais da instalação, qual a secção dos condutores e quais os dispositivos de proteção a utilizar.

✓ **Proteção contra Sobrecargas**

A proteção das canalizações contra sobrecargas, tem de cumprir duas condições [34]:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (1.1)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_Z \quad (1.2)$$

Em que:

I_B – Corrente de serviço (A)

I_N – Corrente do dispositivo de proteção (A)

I_Z – Corrente admissível da canalização (A)

I_2 – Corrente convencional de funcionamento do dispositivo de proteção (A).

✓ **Proteção contra Curto-Circuitos**

Para o dimensionamento das instalações elétricas, é necessário obter os valores para as correntes de curto-circuito máximo nos diversos pontos da rede. Estes valores dependem, não só das características das canalizações, como também são condicionados pela potência de curto-circuito no ponto de interligação da instalação com a rede de distribuição local.

Além disso, deve de ser previstos dispositivos de proteção que interrompam as correntes de curto-circuito antes que estas se possam tornar perigosas. A verificação da proteção contra as correntes de curto-circuito envolve a determinação do poder de corte adequado do aparelho de proteção, determinado pela corrente de curto-circuito máxima ($I_{CCMÁX}$).

✓ **Quedas de Tensão**

A queda de tensão entre a origem da instalação e o ponto de utilização não pode ser superior a 6% na iluminação e 8% em outros usos se as instalações são alimentadas diretamente a partir de um posto de transformação (PT) MT/BT, de que é exemplo o projeto em estudo. No entanto, as RTIEBT sugerem que as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os 3% na iluminação e 5% em outros usos [20].

As quedas de tensão que são admissíveis podem, então, ser calculadas com as seguintes expressões [34]:

$$u = b * \left(\rho_1 * \frac{L}{S} * \cos\varphi + \lambda * L * \sin\varphi \right) * I_B \text{ e } \Delta u = 100\% * \frac{u}{U_0} \quad (2.1)$$

Em que:

u – Queda de tensão (V);

Δu – Queda de tensão relativa (%);

U_0 – Tensão entre fase e neutro (V);

ρ_1 – Resistividade dos condutores à temperatura em serviço normal ($\Omega\text{m}^2/\text{m}$);

L – Comprimento da canalização (m);

S – Secção dos condutores (mm^2);

$\cos\varphi$ – Fator de potência;

λ – Reatância linear dos condutores ($\text{m}\Omega/\text{m}$);

I_B – Corrente de serviço (A).

✓ Corrente de Curto-Circuito Máxima

A corrente de curto-circuito máxima tem de verificar qual é o poder de corte necessário para o dispositivo de proteção a instalar. O poder de corte não pode ser menor ao da corrente de curto-circuito máxima no ponto em que o dispositivo for instalado, a não ser se existir, a montante, um dispositivo com um poder de corte apropriado. Os poderes de corte apresentados nos esquemas devem ser entendidos como mínimos e obtidos respeitando a equação [35]:

$$I_{CC_{MÁX}} \leq Pdc \quad (3.1)$$

O cálculo da corrente de curto-circuito máxima exige que a resistência elétrica de todas as canalizações seja à temperatura de 82,5° C, pelo que obtemos [35]:

$$I_{CC_{MÁX}} = \frac{U_0}{R_{m,82,5^\circ\text{C}}} \quad (3.2)$$

Em que:

U_0 – Tensão nominal da instalação;

$R_{m,82,5^\circ\text{C}}$ – Resistência elétrica do condutor à temperatura de 82,5° C.

Ao saber o $I_{CC_{MÁX}}$, é possível escolher um dispositivo de proteção que verifique as condições de proteção, isto é, o poder de corte seja maior ao valor de $I_{CC_{MÁX}}$.

3.2 PREPARAÇÃO DO PROJETO

3.2.1 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

O dimensionamento de uma instalação elétrica consiste em selecionar a secção dos condutores a utilizar e as características do aparelho de proteção correspondente de acordo com um conjunto de aspetos de natureza técnica (como visto no subcapítulo anterior), mas também económica. Neste caso será também dimensionada a estrutura da parede infraestruturada onde estão incorporados os componentes principais da instalação elétrica. Inicialmente deverão ser definidos quais os circuitos que irão incorporar a instalação elétrica, tendo em conta os equipamentos mencionados no subcapítulo 3.1.1 – Estudo do Projeto.

✓ Circuitos

Na determinação de quais os circuitos que irão constituir a instalação elétrica do quarto de hotel (bem como para todo o dimensionamento do projeto), é fundamental a consulta das regras técnicas que definem um conjunto de normas de instalação e de segurança a observar nas instalações elétricas de utilização em baixa tensão – as RTIEBT, e ter em conta que os equipamentos com características de riscos idênticos devem ser agrupados em circuitos comuns [20], [36].

O primeiro circuito da instalação é destinado apenas à iluminação, onde a potência aparente (S) é substancialmente menor e, conseqüentemente, correntes estipuladas mais baixas que os restantes circuitos. As tomadas são divididas em dois circuitos: “Tomadas” e “Tomadas WC”. Esta separação é feita pois, segundo as RTIEBT, cada circuito final não deve, em regra, alimentar mais do que oito pontos de utilização, pelo que, no total das 9 tomadas, apenas 1 se encontra no interior do WC [20]. Para além disto, estes locais apresentam maiores riscos elétricos pelo contacto com a água e pelos elevados níveis de humidade, implicando que a sua alimentação deva ser efetuada, em regra, a partir de circuito específico, isto é, distinto dos outros circuitos da instalação [36]. Os dispositivos de proteção dos circuitos mencionados neste parágrafo (Iluminação, Tomadas e Tomadas WC) serão ainda comandados por um contactor silencioso, o qual será acionado por um leitor de cartões (ou interruptor de cartão).

Os restantes circuitos finais serão os circuitos de alimentação do frigobar (FB) e de alimentação da unidade evaporadora (UV) que, pela necessidade de se manterem sempre alimentados mesmo na ausência do utilizador – neste caso o hóspede do quarto de hotel – não serão

comandados pelo contactor silencioso, acionado por um leitor de cartões. Já a alimentação do quadro de quarto, a montante do mesmo, é feita por meio do quadro de piso, do piso correspondente. Deste modo, o quadro apresenta um circuito a montante do dispositivo diferencial (alimentação do quadro) e cinco circuitos finais, a jusante do mesmo (“Iluminação”, “Tomadas WC”, “Tomadas”, “Alim. Frigobar” e “Alim. Unidade Evaporadora”).

Por fim, além dos circuitos mencionados, a parede infraestruturada será ainda constituída por: uma ligação do quadro elétrico ao leitor de cartões ao quadro elétrico, para comando dos circuitos mencionados anteriormente; uma ligação à caixa de aparelhagem que irá funcionar como uma das tomadas do circuito “Tomadas”; e duas ligações que irão sair das caixas de aparelhagem dos interruptores, para os pontos de luz correspondentes. Deste modo, para a instalação elétrica presente na parede pré-fabricada, considerou-se os circuitos apresentados na tabela 1, com as respetivas designações e destinos.

Tabela 1 – Lista de circuitos presentes na parede infraestruturada.

Designação do circuito	Destino do circuito
1.1	Iluminação
2.1	Tomadas WC
2.2	Tomadas
2.2 (P)	Tomada Parede Infraestruturada
2.3	Alim. Frigobar
2.4	Alim. Unidade Evaporadora
AQ	Alim. Quadro Elétrico
CQ	Interruptor/Comutador Ilum. Quarto
WC	Interruptor Iluminação WC
L	Leitor Cartões

✓ Condutores

O dimensionamento de uma instalação implica a seleção de um valor de secção dos condutores que verifique um conjunto de condições de índole técnica. Em todo o caso, a seleção deste valor de secção não pode ser realizada de forma isolada em relação à escolha do aparelho de proteção (disjuntor) que será instalado nessa canalização elétrica. A seleção de um valor de secção dos condutores dependerá da maior intensidade de corrente a alimentar não devendo o aparelho de proteção atuar para esta corrente [37]. Na tabela 2 estão representadas as correntes estipuladas e secções, para os diferentes tipos de circuitos utilizados neste tipo de instalações:

Tabela 2 - Proteção contra sobrecargas e secções dos condutores (adaptado de [38]).

Natureza dos circuitos	Secção dos condutores (mm ²)	Proteção contra sobrecargas (A)
Iluminação	1,5	10
Estores elétricos	1,5	10
Tomadas	2,5	16
Termoacumuladores	2,5	16
Máquinas de lavar e secar	2,5	16
Fogão ou forno elétrico	4 ou 6	25 ou 32
Climatização ambiente	2,5 ou 4	16 ou 25
Portão elétrico	2,5	16
ATI	2,5	16
Central de incêndio/intrusão	2,5	16
Porteiro/videoporteiro	2,5	16

O isolamento dos condutores utilizados na instalação cumpre as cores regulamentares:

- Castanho, preto e cinzento, para os condutores de fase;
- Azul para condutor de neutro;
- Verde-amarelo para condutor de proteção e PE.

Neste projeto, as canalizações foram estabelecidas de forma a permitir a sua fácil localização e identificação, tendo sido utilizado tubo pré-cablado para a passagem dos condutores. Uma vez que esta rede de tubagem irá atravessar o quarto pelo teto falso, ou seja, não é embebida, optou-se pela utilização de tubo anelado (flexível), com condutores do tipo *H07Z1-K Type 2 CPR*, adequado para este tipo de instalações e respeitador da norma EN 50575. A tabela 3 apresenta os diâmetros de tubo anelado normalmente utilizados com condutores *H07V-U/R*, idênticos aos condutores utilizados no projeto.

Tabela 3 – Diâmetros nominais dos tubos anelados com condutores *H07V-U/R* (adaptado de [39]).

Secção dos condutores (mm ²)	2 condutores	3 condutores	4 condutores	5 condutores
1,5	16	16	20	20
2,5	16	20	20	25
4	20	20	25	25
6	20	25	32	32

Os tipos de tubo pré-cablado utilizados estão descritos na tabela 4, onde o tubo do tipo d) se trata um tubo anelado, sem condutores, a ser utilizado apenas na alimentação do quarto, uma vez que esta será feita posteriormente, na instalação em obra.

Tabela 4 – Tipos de cabos utilizados na instalação elétrica da parede infraestruturada.

Denominação do cabo	Diâmetro do tubo (mm ²)	Nº de condutores	Secção dos condutores (mm ²)	Tipo de Cabo
a)	16	3	1,5	H07Z1-K 3G1,5
b)	20	5	1,5	H07Z1-K 5G1,5
c)	20	3	2,5	H07Z1-K 3G2,5
d)	32	0	N/A	N/A

Na tabela 5 está então representada a atribuição de cada tipo de tubo pré-cablado, a cada um dos circuitos existentes na parede infraestruturada.

Tabela 5 – Tipos de cabos utilizados para cada um dos circuitos da instalação elétrica da parede infraestruturada.

Designação do circuito	Cabo utilizado
1.1	a)
2.1	c)
2.2	c)
2.2 (P)	c)
2.3	c)
2.4	c)
AQ	d)
CQ	b)
WC	a)
L	a)

✓ Quadro Elétrico

O condutor a instalar apresenta, por aspetos construtivos associados ao seu aquecimento, uma intensidade de corrente máxima admissível que poderá ser ultrapassada por curtos períodos de tempo devendo o aparelho de proteção proceder à sua interrupção se a sobreintensidade for elevada ou, sendo mais baixa, se a sua duração for elevada [37]. Assim, no dimensionamento de um quadro elétrico, deve sempre prever-se:

- a existência de aparelho de corte de entrada de características adequadas à corrente de serviço;
- a existência de um aparelho com características diferenciais;
- uma subdivisão correta dos circuitos;
- um terminal ou barramento para ligação da terra de proteção;
- o aparelho de corte de entrada está normalmente instalado no mesmo nicho do quadro.

Outro princípio importante no dimensionamento de uma instalação elétrica e, conseqüentemente, na conceção de um quadro elétrico, é a seletividade. Esta consiste em garantir que, no caso de ocorrência de um incidente que envolva o funcionamento de dispositivos de proteção existentes na instalação, apenas seja afetada a parte da instalação em que ocorreu esse incidente, permanecendo a restante parte em exploração normal [36].

O dimensionamento do quadro elétrico, tendo em conta os circuitos utilizados, os condutores e as proteções contra sobreintensidades, resultou no quadro de quarto (Q.Q.), obtido com recurso a uma caixa de embutir TEV P114CL, de 1 fila e 14 módulos, branca, de porta opaca e fabricada em termoplástico, a qual inclui bornes (de terra e de neutro) e calha DIN, incorporados. As restantes características gerais do Q.Q. são apresentadas na tabela de características técnicas da figura 7.

Caraterísticas Técnicas						
Quadro:	Q.QUARTO			Nº Série:	Q0477.3114.21	
Un:	230	V	IP:	40	Classe Isol.:	II
In:	25	A	IK:	07	Reg. Neutro:	TT
Pdc:	3	kA	Freq.:	50	Norma:	EN 60898-1

Figura 7 – Tabela de características técnicas de um quadro de quarto (Q.Q.).

Por fim, a escolha dos dispositivos de proteção contemplou todos os pontos de dimensionamento abrangidos no presente subcapítulo, de modo a garantir a proteção contra sobreintensidades dos circuitos da instalação elétrica. A tabela 6 apresenta um apanhado desta aparelhagem de proteção, que é esquematizada no Anexo A.

Tabela 6 – Lista de dispositivos de proteção utilizados no Q.Q..

Dispositivo	Marca	Quantidade (un.)
Interruptor Diferencial 2x25A 30mA	Hager	1
Disjuntor 10A	Hager	1
Disjuntor 16A	Hager	4
Contactador Silencioso 25A	Hager	1
Corta-circuitos 32A	Hager	1
Sinalizador LED Verde	Hager	1

Para melhor entendimento de todas as ligações elétricas presentes no Q.Q., realizou-se um esquema unifilar do mesmo, com recurso ao *software Autodesk AutoCAD*, possível de consultar no Anexo B. Para além dos dispositivos de proteção utilizados, a eletrificação do Q.Q. contou com os componentes apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Componentes utilizados na eletrificação interna do Q.Q..

Componentes	Marca	Quantidade
Fusível 2A	MOR	1 un.
Pente Forquilha	TEV2	2 x 3 mód.
Máscara Branca em Banda	Hager	4 mód.
Terminais de Fio Elétrico (1,5, 2,5 e 4 mm ²)	N/A	12 un.
Fio Elétrico Castanho e Azul (1,5, 2,5 e 4 mm ²)	N/A	≈ 1 m

3.2.2 ESTRUTURA E ESQUEMATIZAÇÃO

Os componentes elétricos da parede infraestruturada – quadro elétrico, caixas de aparelhagem e rede de tubagem pré cablada, serão instalados numa placa de madeira OSB (*Oriented Strand Board*) com umas dimensões de 2398 mm de altura, 580 mm de largura e 12 mm de profundidade, como visível na imagem da figura 8, e poderá ser de dois tipos:

- “P.INF.1”, ou parede esquerda, servirá para os 45 quartos onde o WC se encontrará à esquerda, no momento de entrada do quarto;
- “P.INF.2”, ou parede direita, servirá para os 45 quartos onde o WC se encontrará à direita, no momento de entrada do quarto;

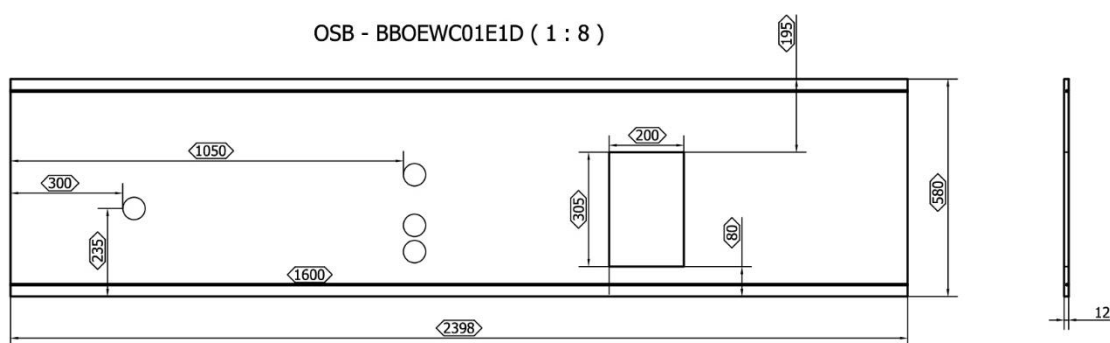
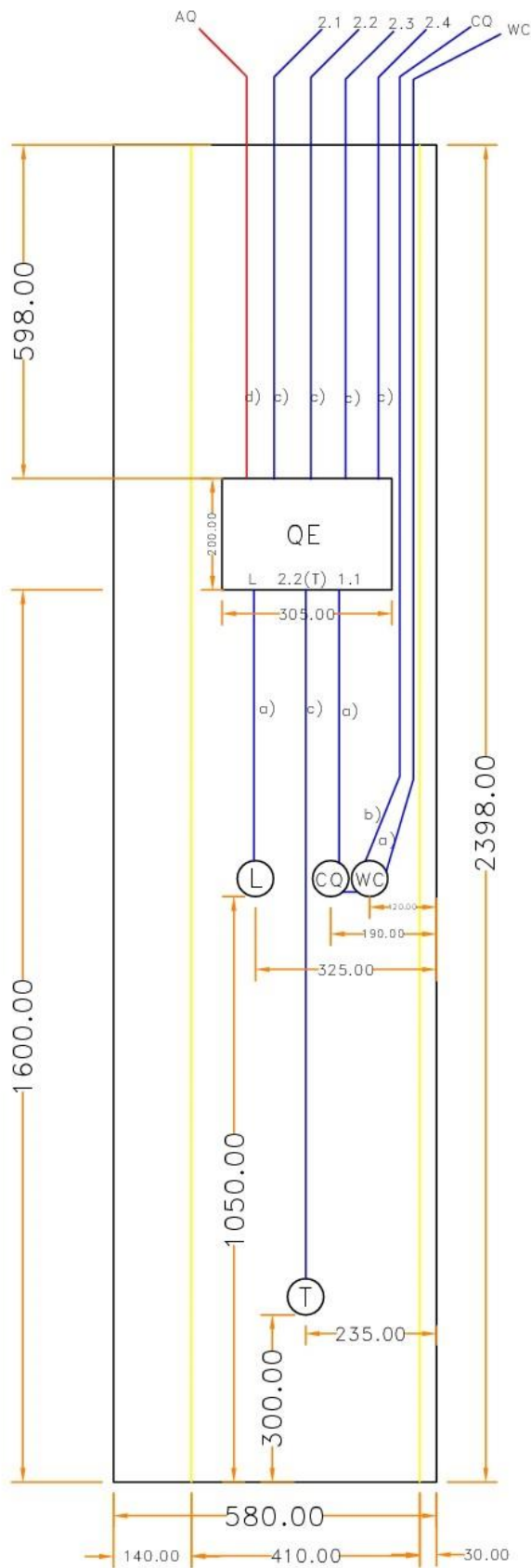


Figura 8 – Esquema da placa de madeira OSB utilizada na produção da parede infraestruturada.

Segundo o projeto de arquitetura do hotel, esta placa irá incorporar um conjunto de quatro paredes pré-fabricadas, com perfis estruturais em alumínio, que se ligarão entre si no momento de instalação em obra. Estas paredes contarão com a instalação elétrica de todo o quarto, resultado desta dissertação, mas também com componentes de outras especialidades.

A preparação da instalação elétrica na placa de madeira OSB foi esquematizada em 2D e 3D (BIM) com recurso aos *softwares Autodesk AutoCAD* e *Autodesk Revit*, respetivamente. A imagem figura 9 representa o esquema 2D da parede infraestruturada a aplicar em quartos onde o WC se encontra à esquerda, no momento de entrada do quarto, ou seja, P.INF.1. Os esquemas completos de ambas as paredes infraestruturadas estão representados no Anexo C e D, respetivamente. Na imagem seguinte (figura 10) está representado o esquema BIM da P.INF.1, modelado para facilitar o pré-fabrico das infraestruturas.



LEGENDA	
2.1	TOMADA WC
2.2	TOMADAS QUARTO
2.3	ALIM. FRIGOBAR
2.4	ALIM. UNIDADE EVAPORADORA
AQ	ALIM. QUADRO ELETRICO
CQ	INTERRUPTOR/COMUTADOR ILUMINAÇÃO QUARTO
WC	INTERRUPTOR ILUMINAÇÃO WC
QE	QUADRO ELETRICO
L	LEITOR DE CARTÕES
T	TOMADA

LEGENDA DE CABOS	
a)	TUBO CORRUGADO PRÉ-CABLADO #16MM C/ H07Z1-K 3G1,5
b)	TUBO CORRUGADO PRÉ-CABLADO #20MM C/ H07Z1-K 5G1,5
c)	TUBO CORRUGADO PRÉ-CABLADO #20MM C/ H07Z1-K 3G2,5
d)	TUBO CORRUGADO #32MM

Figura 9 – Esquema elétrico da parede infraestruturada P.INF.1.

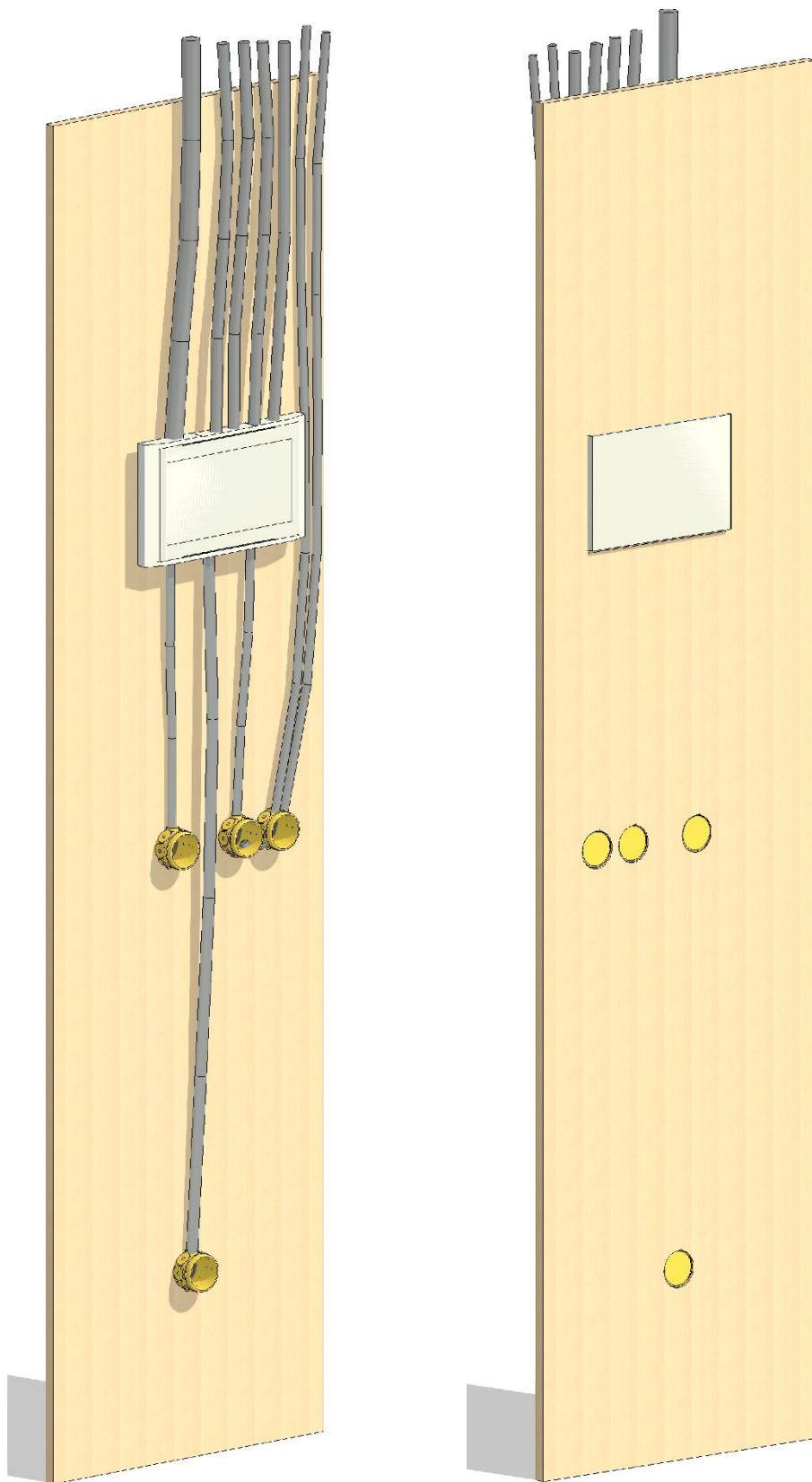


Figura 10 – Esquema 3D da parede infraestruturada P-INF.1.

3.3 CONCRETIZAÇÃO DO PROJETO

A construção *off-site* prevê a redução de tempos, custos e resíduos desde a sua fase mais primordial, até ao momento em que a infraestrutura pré-fabricada chega à obra. Posto isto, após o estudo e preparação de todo o projeto, dá-se início à sua concretização. Esta consiste no processo de fabricação industrializado, na sua instalação e finalmente expedição para o local de obra. O processo de fabricação requer um planeamento prévio da mão de obra, dos recursos materiais e da logística.

3.3.1 POSTOS E SECÇÕES

O processo de fabricação inicia a concretização do projeto. Neste, a matéria prima é transformada no produto final, com recurso à mão-de-obra destacada para o efeito. Para este projeto foram então convocados três trabalhadores com diferentes características e qualificações. Deste modo, a fabricação inicia-se logo após a atribuição destes trabalhadores aos seus respetivos postos e secções de trabalho, bem como dos passos do processo de fabricação pré-definidos. A atribuição dos postos foi posta em prática da seguinte forma:

- Posto “P1” – Executante de obra, responsável pela secção 1 (armazém), garante a gestão de *stock*, inicia a preparação de materiais e colabora no processo de fabricação;
- Posto “P2” – Executante de obra, responsável pela secção 2 (bancada de montagem), garante a execução dos principais passos de fabricação, com auxílio dos postos P1 e “P3”;
- Posto “P3” – Encarregado de obra (eletricista), responsável pela secção 3 (expedição), garante a eletrificação e ensaios dos quadros elétricos, coordena os tempos de fabricação dos postos P1 e P2, e assegura que o produto é fabricado, finalizado e expedido em conformidade com as normas de segurança, ambiente e qualidade, aplicáveis.

Após definidos os postos de trabalho e as suas funções, são então organizados os espaços de trabalho comuns aos intervenientes, os quais foram denominados por secções. A secção 1 – armazém, é o espaço destinado ao armazenamento e preparação de todo o material a ser usado, bem como das ferramentas de cada posto. Todo o *stock* de material em armazém deve ser controlado, gerido e devidamente identificado como apresentado na imagem da figura 11.



Figura 11 – Fotografia da estante de armazenamento presente na secção.

A secção 2 – bancada de montagem, é o local de fabricação, eletrificação e ensaios elétricos. Esta secção é partilhada por todos os intervenientes e deve conter, sobre a bancada, todos os utensílios, acessórios, consumíveis, ferramentas e restante equipamento a ser utilizado no dia de trabalho. O tubo pré-cablado em utilização é disposto no chão, na parte inferior da bancada, devidamente identificado. A imagem da figura 12 representa a preparação da bancada de trabalho antes de iniciados os trabalhos de fabricação.



Figura 12 – Preparação da bancada para os trabalhos de fabricação da parede infraestruturada.

Por fim, a secção 3 – expedição, é o espaço exclusivamente dedicado ao armazenamento do produto final, ou seja, das paredes infraestruturadas finalizadas, prontas a serem instaladas no módulo de WC pré-fabricado. Deve ser assegurado que, no momento em que as paredes infraestruturadas são colocadas para expedição, os componentes foram convenientemente montados e o quadro elétrico corretamente eletrificado e ensaiado. Este armazenamento é feito em carrinhos de suporte/armazenamento como demonstrado na figura 13.



Figura 13 – Carrinho de suporte utilizado no armazenamento de paredes infraestruturadas finalizadas.

Estando atribuídos os postos e as secções, a fabricação deverá seguir uma linha de montagem de modo a que o processo seja o mais industrializado possível, isto é, pretende-se a máxima redução de tempos, resíduos e, conseqüentemente custos. Este processo está esquematizado na figura 14, e foi elaborado recurso ao *software Autodesk AutoCAD*.

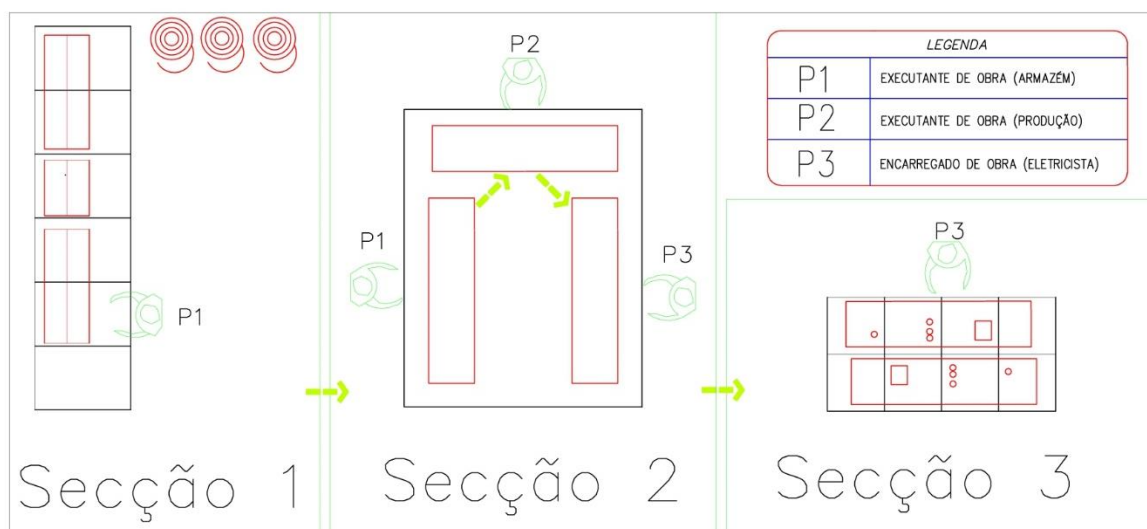


Figura 14 – Esquema do processo de fabricação das paredes infraestruturadas.

3.3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo de fabricação ocorre em todas as seções de trabalho e é executado na íntegra por todos os trabalhadores envolvidos. Os diferentes passos do processo de fabricação foram divididos em três fases principais: preparação, montagem e finalização.

✓ Preparação

Na primeira etapa, tal como o nome o indica, ocorre toda a preparação dos materiais e equipamentos que, posteriormente, serão montados na placa de madeira OSB. Na seção 1, inicia-se a identificação do material e das ferramentas que serão utilizadas no dia de trabalho. Todo este equipamento é separado e transportado para a bancada de trabalho, sendo disposto como indicado anteriormente e, após a atualização da tabela “Gestão de *Stock*”, procede-se à execução das seguintes tarefas:

- Medição, corte e identificação do tubo pré-cablado – onde o técnico irá, consultando a tabela de comprimentos presente no anexo E, medir o comprimento de tubo pré-cablado necessário para cada circuito, cortá-lo e, por fim, identificar com etiquetas o circuito correspondente;
- Medição de cotas e furação da parede – medição das cotas estipuladas e furação da parede para a colocação das caixas de aparelhagem e caixas do Q.Q. conforme esquematizado nas figuras 8, 9 e 10;
- Furação da caixa do quadro elétrico e das caixas de aparelhagem – com o diâmetro correspondente à tubagem pré-cablada a ser aplicada nas respectivas caixas;
- Montagem do quadro elétrico – com recurso ao material dimensionado e em conformidade com o esquema unifilar (anexo A) e com o *layout* (anexo B) do mesmo, resultando no quadro apresentado na figura 15.



Figura 15 – Quadro elétrico montado.

✓ Montagem

Na fase de montagem, todos os equipamentos preparados anteriormente serão reunidos, acoplados e fixados sequencialmente na placa de madeira OSB, de modo a obter um produto final. A este produto final faltará apenas a ligação dos circuitos ao quadro elétrico, os ensaios elétricos do mesmo e a conclusão logística associada. Toda a etapa de montagem ocorre na secção 2, ou seja, na bancada de trabalho, e contempla as seguintes tarefas:

- Fixação do quadro elétrico e das caixas de aparelhagem – onde o técnico garante a estabilidade das mesmas não comprometendo a instalação posterior das aparelhagens (tomada, interruptores e interruptor de cartão);
- Colocação e fixação da rede de tubagem pré-cablada – uma das tarefas mais demoradas de todo o processo, exige que o técnico instale os tubos pré-cablados conforme o dimensionamento das figuras 9 e 10 e, prontamente, garanta a fixação de toda a rede de tubagem à placa de madeira OSB, não extravasando os limites laterais da mesma (figura 16).



Figura 16 – Parede infraestruturada em fase final de montagem.

✓ Finalização

É na fase de finalização que são garantidas as conclusões da montagem, eletrificação, ensaios e logística. No fim desta etapa, os técnicos garantem que a fabricação da parede infraestruturada está totalmente terminada, o a instalação elétrica concluída, o quadro elétrico verificado e

certificado e o produto devidamente identificado, com a documentação necessária para o cliente final e em conformidade com a norma EN 60898-1.

Executa-se assim a eletrificação do Q.Q. com a ligação dos circuitos proveniente da rede de tubagem pré-cablada, aos dispositivos montados no quadro. Nesta tarefa, o técnico do posto P3 assegura a ligação dos condutores N e PE (neutro e proteção terra) aos barramentos correspondentes e que o fusível é instalado no corta-circuitos conforme previsto no dimensionamento. Após todas as ligações estarem concluídas, o técnico deve certificar-se que todos os dispositivos estão devidamente apertados e que os condutores não estejam sob tensão física. Esta tarefa termina com a sinalização dos circuitos nos condutores, tal como observado na imagem da figura 17.

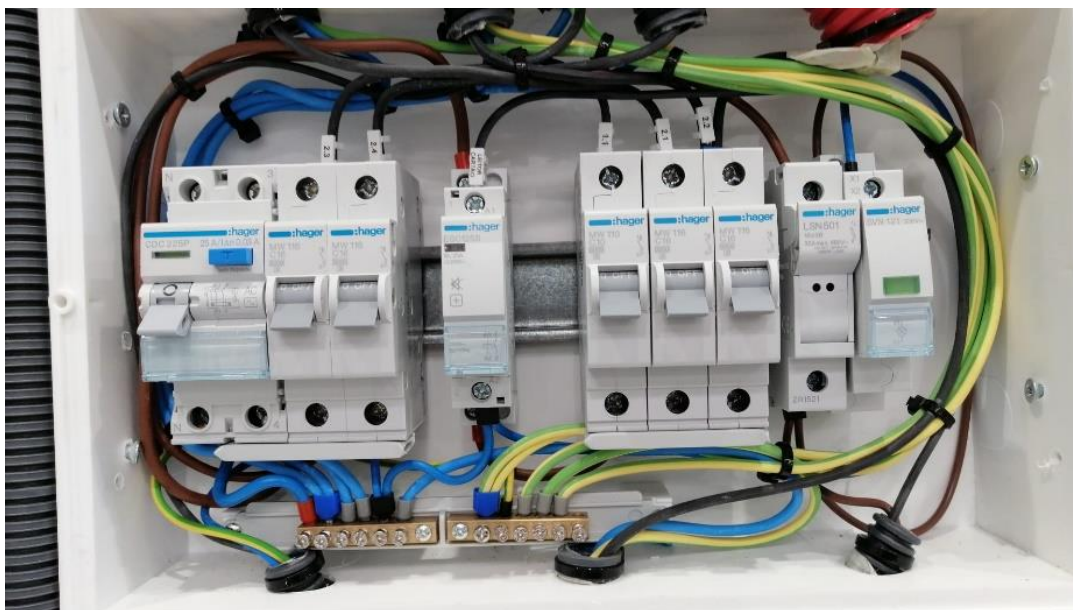


Figura 17 – Quadro elétrico eletrificado.

Após a montagem e eletrificação do Q.Q., segue-se a tarefa de verificação e certificação do mesmo. A verificação dos quadros elétricos é um procedimento fundamental para a garantia da sua execução plena e do cumprimento de todos os requisitos legais aplicáveis na sua montagem. A verificação inclui a verificação da “construção” e a verificação do “desempenho” obtida através da inspeção visual e das medições e ensaios realizados.

O procedimento de inspeção visual é feito pelo técnico encarregado, a todos os componentes do quadro, verificando a ausência de riscos ou deformações, passando pelos diversos equipamentos, confirmando se a sua disposição e marcação está efetivamente como descrita no *layout* (anexo B) e se o poder de corte (P_{dc}) dos disjuntores corresponde ao dimensionado no esquema elétrico (anexo A).

Após todas estas verificações, é ainda necessário certificar que o quadro elétrico está devidamente livre de poeiras e resíduos que possam ter sido acumuladas no momento da preparação e montagem. Todas estas medidas são realizadas de forma cuidada e de modo a evitar causa qualquer anomalia na execução dos ensaios a efetuar.

Estes ensaios são realizados sendo tomadas todas as precauções necessárias de forma a garantir a segurança dos técnicos e a evitar danos às instalações e equipamentos instalados. Todos os quadros elétricos produzidos e incluídos na instalação elétrica da parede infraestruturada, foram submetidos a três testes de verificação:

- Ensaio funcional – onde o técnico deverá aplicar nos terminais de entrada uma tensão de 230V, garantindo a tensão correta aos terminais de cada circuito e o bom funcionamento tanto dos comandos e sinalizações, como dos testes diferenciais;
- Ensaio de resistência de isolamento – realizado com toda a aparelhagem em posição de funcionamento normal à exceção dos componentes que não suportam a tensão de ensaio (500VDC). Com os dispositivos de proteção em posição fechada, é aplicada a tensão de ensaio entre dois condutores ativos (figura 18 – à esquerda) durante um período igual ou superior a 5 segundos e onde se espera obter um valor de resistência de isolamento superior a $1000\Omega/V$;
- Ensaio de rigidez dielétrica – o procedimento deste ensaio requer que todos os aparelhos de proteção estejam na posição fechada e seja aplicada uma tensão de ensaio dielétrico de 1890V, entre dois pontos ativos (figura 18 – à direita), durante um período igual ou superior a 5 segundos. O ensaio é considerado satisfatório desde que a corrente de fuga seja inferior a 100mA e desde que não ocorra nenhuma descarga disruptiva durante o ensaio.

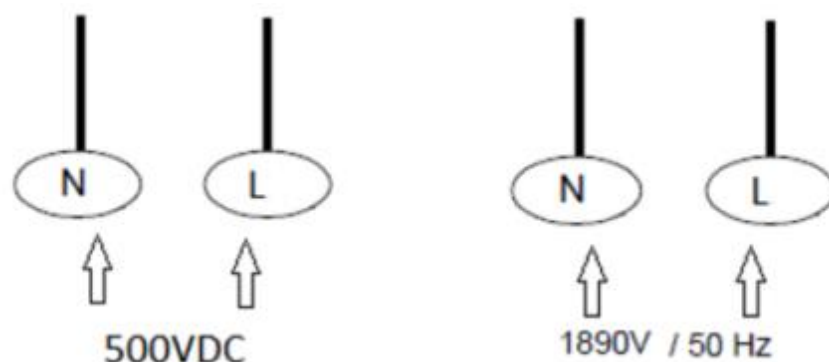


Figura 18 – Ensaio de resistência de isolamento (à esq.) e ensaio de rigidez dielétrica (à dir.).

O processo de fabricação fica concluído com a identificação da parede infraestruturada através de uma etiqueta de identificação (figura 19) onde é discriminado: a obra correspondente, o nº de série da placa, o tipo (P.INF.1 ou P.INF.2), o executante, o responsável pelo projeto e a data da sua fabricação. Após isto, o técnico que a executou armazena a parede infraestruturada nos carrinhos de armazenamento/expedição, da secção 3.

			
OBRA			
N. PLACA		TIPO	
EXECUTOU			
RESPONSÁVEL		DATA ___/___/___	

Figura 19 – Etiqueta de identificação de uma parede infraestruturada concluída.

3.3.3 INSTALAÇÃO EM FÁBRICA

Após concluído o processo de fabricação e do produto final ser colocado nos carrinhos de armazenamento existentes na secção 3, as paredes infraestruturadas passam à responsabilidade da equipa de trabalho da Blufab – empresa do Grupo Casais, responsável pelos projetos de construção *off-site* e a qual, em parceria com as empresas MEP como a Quadrina, coordena os projetos de pré-fabrico.

A equipa da Blufab inicia o processo de construção do módulo *off-site* com a estruturação das 4 paredes que constituem o WC de cada um dos quartos do hotel. Esta estrutura é obtida pela montagem de perfis laterais em alumínio, como observado na figura 20.



Figura 20 – Processo de estruturação das paredes de um módulo *off-site*.

Cada uma das paredes de WC é composta pelo seu perfil metálico; pela placa de madeira OSB ou, quando aplicável, pela parede infraestruturada das especialidades incluídas: instalação mecânica de saneamento e instalação elétrica de baixa tensão; e pelo revestimento indicado pelo projeto de arquitetura do hotel. Neste projeto, o revestimento destas paredes é constituído por gesso cartonado e cerâmica impermeável a montante da parede infraestruturada (face voltada para o interior do WC) e, a jusante, é aplicado em obra (*on-site*) apenas gesso cartonado e acabamentos (face voltada para o corredor de entrada do quarto).

Todos os componentes que constituem o módulo *off-site* do WC são fabricados em linha de montagem, seguindo a filosofia da industrialização, e em simultâneo por diferentes equipas especializadas e destacadas para o efeito. No de montagem deste módulo, cada uma das 4 paredes compostas pelo perfil metálico e pela parede infraestruturada correspondente, são dispostas como na imagem da figura 21.



Figura 21 – Parede de WC concluída.

A instalação em fábrica da parede infraestruturada no módulo *off-site*, é concluída com o embalamento individual destas paredes de WC e colocação das mesmas na zona de expedição da fábrica, prontas a serem transportadas para o local de obra.

Chegadas à obra, estas paredes de WC são dispostas conforme o estabelecido no projeto de arquitetura, acopladas entre si tal como demonstrado no protótipo da figura 22. Antes da aplicação de gesso cartonado, em obra, a rede de tubagem pré-cablada da parede infraestruturada é lançada aos pontos de instalação de cada circuito.



Figura 22 – Módulo *off-site* WC de um quarto de hotel.

3.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE

Retomando o intuito primordial desta dissertação, espera-se que o desenvolvimento de uma solução *off-site* que promova a industrialização das instalações elétricas de baixa tensão, se traduza na redução de tempo, custo e resíduos no processo construtivo. Neste subcapítulo são apresentados os resultados dos testes de verificação e certificação de um quadro elétrico utilizado no projeto, bem como apresentados os resultados globais de todo o projeto e a discussão dos mesmos.

3.4.1 VERIFICAÇÃO E CERTIFICAÇÃO

A verificação consistiu na realização de uma inspeção visual, seguida de ensaios elétricos. No primeiro caso, apenas se recorreu às ferramentas de uso comum enquanto, para o ensaio funcional se utilizou um multímetro e, no caso dos ensaios de resistência de isolamento e de rigidez dielétrica, utilizou-se o equipamento de testes multifuncional *HT FullTest3*, apresentado na figura 23.



Figura 23 – Equipamento de testes multifuncional *HT FullTest 3*.

Este aparelho está preparado para testes de segurança dos equipamentos conforme a norma EN60604-1 e interruptores e mecanismos de controlo de BT conforme a norma EN61439-1-2. Para o seu bom funcionamento, a máquina deve ser calibrada manualmente antes de cada utilização e devidamente inspecionada e calibrada, anualmente, por um técnico especialista. A zona onde se realizam os ensaios deve ser isolada com pilares de sinalização e deve ainda ser instalado um tapete de isolamento elétrico, onde se posiciona o técnico que os realiza.

✓ **Inspeção Visual**

A inspeção visual foi então realizada na fase inicial de verificação do quadro elétrico. Numa primeira etapa removeu-se cautelosamente quaisquer resíduos (como sobras de fio, ponteiros, entre outros) e poeiras (características do local de fabricação). Após isto, numa cuidadosa observação, verificou-se a ausência de riscos, quebras e deformações do equipamento. Por fim, o técnico assegurou-se que todos os dispositivos de proteção estão bem apertados, de modo a

evitar o risco de aquecimento e/ou incêndio, no momento da sua utilização. Após a inspeção visual, é esperado que os quadros se apresentem como o da figura 24.



Figura 24 – Quadro elétrico após inspeção visual.

✓ **Ensaio Funcional**

O teste funcional (ou ensaio funcional) serve para perceber se os aparelhos estão a funcionar corretamente. Para cada um destes, inicialmente o técnico aplicou a tensão nominal (230V) nos terminais dos dispositivos desligados, esperando assim que o multímetro indicasse um valor de tensão próximo de 0V, como apresentado na figura 25.

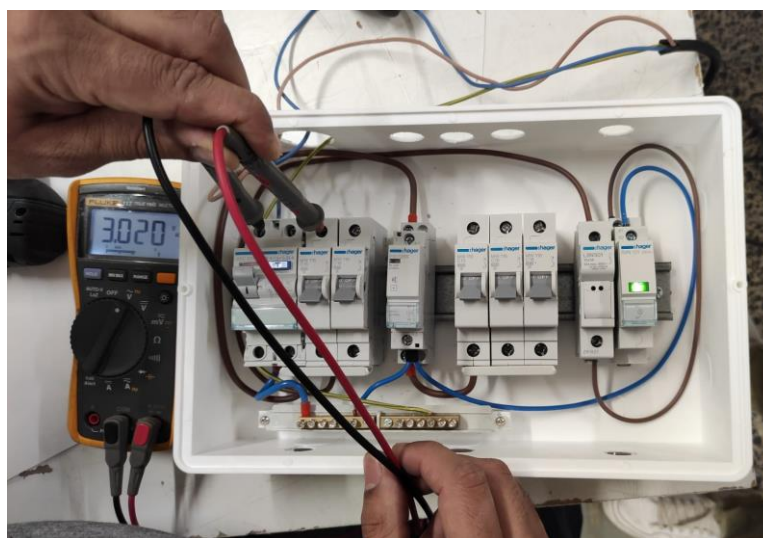


Figura 25 – Realização de ensaio funcional com dispositivo fora de funcionamento.

Em seguida o dispositivo é ligado e, em segurança, o técnico voltou a aplicar tensão nos terminais, sendo expectável que o multímetro indique um valor de tensão próximo de 230V (figura 26) e, deste modo, confirmando o bom funcionamento da aparelhagem.

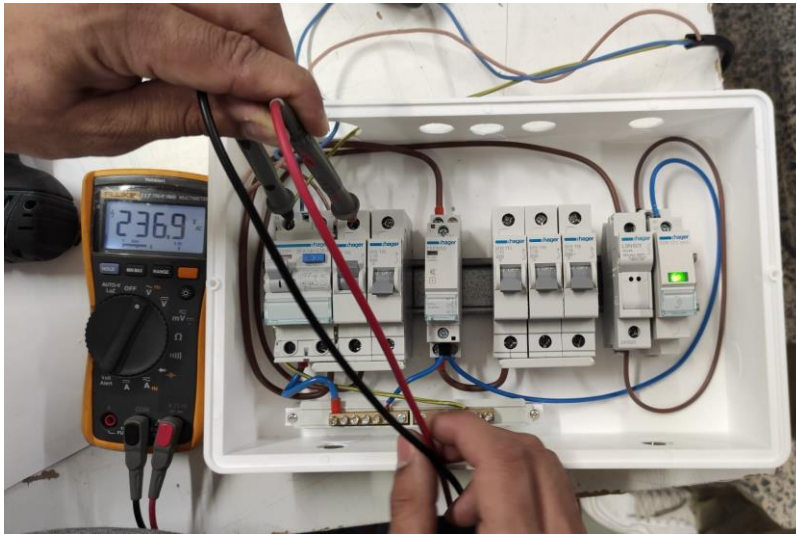


Figura 26 - Realização de ensaio funcional com dispositivo em funcionamento.

Embora este seja um ensaio fulcral para a verificação do quadro elétrico, não é necessária a transposição dos resultados para o relatório de ensaios que é entregue ao cliente.

✓ **Ensaio de Resistência de Isolamento**

No ensaio de resistência de isolamento, já com recurso ao equipamento de testes, o técnico aplicou a tensão de ensaio (500VDC) entre os condutores ativos (figura 27), durante um período igual ou superior a 5 segundos.

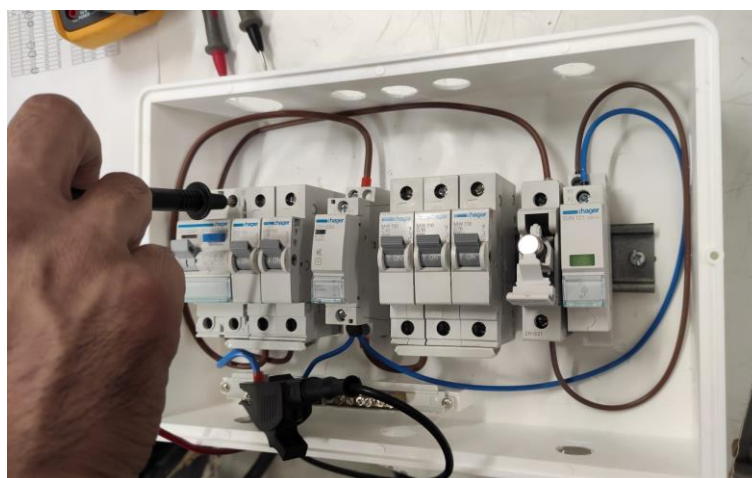


Figura 27 – Realização de ensaio de resistência de isolamento.

Após a aplicação da tensão de ensaio durante, o equipamento de testes indicou no seu ecrã que o teste foi concluído com sucesso (figura 28).



Figura 28 – Equipamento de testes após realização de ensaio de resistência de isolamento.

O ensaio de isolamento é assim verificado, com o resultado do teste apresentando uma resistência de isolamento superior a 1000Ω, como apresentado na figura 29. Esta figura é retirada do relatório de testes (anexo F), que é posteriormente entregue ao cliente.

Nº	Medições	Resultado:	Descrição
17	3114\B&B OEIRAS\0477.3114.21\17 MΩ - Temporização	Ok	Q.QUARTO
	20/10/2021 17:46:00		
	MΩ - Temporização		
	Vmeas (+)	515 V	
	Ri	>500 MΩ	Ok
	Tempo total	5 s	
	VPN	0 V	

Figura 29 – Resultado obtido de ensaio de resistência de isolamento

✓ Ensaio de Rigidez Dielétrica

Na realização do ensaio de rigidez dielétrica aplicou-se a tensão de ensaio 1890 V entre cada polo ativo, devendo-se manter as pontas de prova conectadas durante os 5 ou mais segundos de ensaio. Tal como no ensaio de resistência de isolamento, o equipamento indica que o teste foi concluído (figura 30).



Figura 30 - Equipamento de testes após realização de ensaio de rigidez dielétrica.

Como esperado, o relatório de testes (anexo F) de cada quadro indicou que a corrente de fuga é de 0mA, ou seja, inferior a 100mA (figura 31).

Nº	Medições	Resultado:	Descrição
18	3114\B&B OEIRAS\Q477.3114.21\18 Teste dieléctrico - Teste manual corrente "Real" 20/10/2021 17:46:00	OK	Q.QUARTO
	Teste dieléctrico - Teste manual corrente "Real"		
	Re(I)	0 mA	Ok
	Vúlt.	1 890 V	
	Tempo do Teste	6 s	

Figura 31 – Resultado obtido de ensaio de rigidez dielétrica.

✓ Certificação

A fase de certificação iniciou-se pelo preenchimento da lista de verificações apresentada no relatório de controlo de qualidade (anexo G), a qual indica que todos os termos aplicáveis estão em conformidade. Este documento dá a garantia tanto ao fabricante, como ao cliente, que o quadro elétrico foi cuidadosamente testado.

Outro documento que dá garantias ao cliente e, na qual o fabricante assume todas as normas e diretivas europeias aplicáveis, é a declaração UE de conformidade (anexo H). Este foi assinado pelo responsável de produção da obra em curso.

Posto isto, foi reunida e entregue ao cliente uma pasta com a documentação de cada um dos 90 quadros elétricos produzidos. Cada uma destas 90 pastas contém, referente ao quadro elétrico

respetivo, os seguintes documentos: esquema unifilar (anexo A), *layout* (anexo B), relatório de testes (anexo F), relatório de controlo de qualidade (anexo G), declaração UE de conformidade (anexo H) e ainda o manual de utilização/instalação (anexo I).

A certificação de um quadro elétrico encerra com a elaboração de uma chapa de características que contém as características técnicas mais importantes incluindo o nº de série facilitando, posteriormente, uma eventual intervenção do fabricante (figura 32).

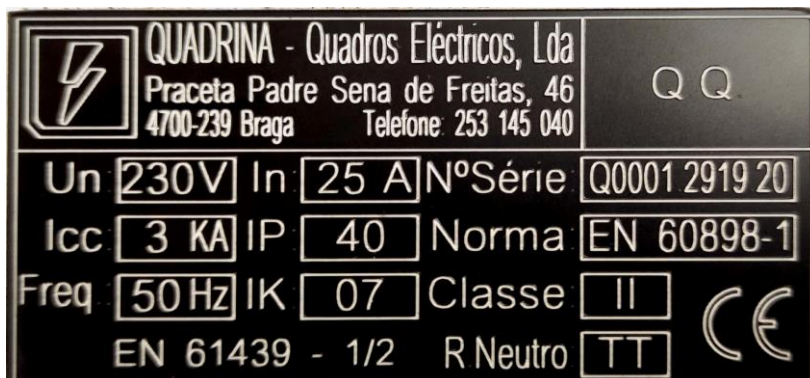


Figura 32 – Chapa de características de um quadro elétrico.

3.4.2 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DA SOLUÇÃO

Os benefícios da construção *off-site* e pré-fabrico de instalações elétricas em baixa tensão são avaliados através de parâmetros como tempo investido, poupança económica, segurança e proteção dos intervenientes, qualidade do produto final e a vertente ambiental associada. Para estes parâmetros contabilizou-se todo o processo de fabricação desde a preparação do material até à sua finalização e, posteriormente, a instalação da parede infraestruturada em local de obra (*on-site*).

A produção iniciou-se com uma equipa de três elementos, sendo dois deles executantes de obra e o último um encarregado de obra, com qualificações a nível de eletricidade. Esta equipa e todo o projeto envolvido, foram coordenados por um responsável de obra, finalista de mestrado em Engenharia Eletrotécnica.

De modo a entender o impacto de todo o projeto, os resultados obtidos na sua conceção foram comparados com os procedimentos *standard* de uma obra de construção tradicional, com dimensões e características idênticas.

De forma resumida, numa obra de construção tradicional, o processo de instalação passa por marcação das paredes, abertura de roços, passagem dos tubos, passagem dos condutores, ligações ao QE, ligações dos circuitos aos pontos finais. Considera-se que, com uma equipa de três elementos, numa obra idêntica, o tempo dispendido para estas tarefas seja de aproximadamente 12 horas que, multiplicadas pelos 90 quartos do hotel, resulte um total de 1440 horas. Após a realização do processo de fabricação das paredes infraestruturadas demonstrou que, em média, a produtividade apresentava 20 paredes produzidas por semana, ou seja, 4 horas por parede. A sua instalação *on-site* (passagem de tubos e ligações) apontou para uma média de 6 horas por quarto, pelo que a produção e instalação de uma parede infraestruturada represente um total de 900 horas, para os 90 quartos do hotel. A poupança final de tempo traduziu-se, assim, numa redução de $(1440-900)$ 540 horas, ou seja, 37.5% do tempo.

A poupança económica é obtida através de diferentes fatores tais como: redução do tempo e qualificação da mão-de-obra, uma vez que o processo de fabricação não exige um número tão elevado de pessoal qualificado; transporte de materiais, uma vez que este apenas ocorre uma vez, no transporte dos módulos *off-site*; eficiência energética, provocada pela redução substancial do uso de maquinaria pesada. Prevê-se que a implementação de instalações elétricas de BT em paredes infraestruturadas tenha resultado numa redução de 5% do custo, quando comparada com uma obra de construção tradicional.

No que concerne à segurança e proteção dos trabalhadores, à qualidade do produto final e à vertente ambiental do projeto, não foram obtidos resultados quantitativos. No entanto, é possível traduzir o resultado final destes parâmetros, quando comparado com uma obra de construção tradicional. Durante o processo construtivo, os trabalhadores puderam realizar as operações em ambiente de fábrica, controlado e seguro, sem necessidade de recorrer a maquinaria pesada e a esforços redobrados, implícitos num ambiente de construção *on-site*. Para além disto, todo o dimensionamento prévio do projeto, bem como a sua pré-fabricação, permitiu não evitar e detetar erros no produto final antes da sua chegada à obra garantindo, assim, uma melhor qualidade do funcionamento e instalação em obra. Por fim, a nível ambiental, a produção de paredes infraestruturadas produziu apenas resíduos plásticos (devido ao corte de tubo pré-cablado), fio elétrico (inutilizado na conceção do quadro elétrico) e madeiras (resultantes do corte e furação das placas de madeira OSB), mostrando-se mais “verde” quando comparado com os resíduos obtidos na conceção de instalações elétricas no processo construtivo tradicional.

Neste capítulo 3 está descrito todo o trabalho prático desenvolvido neste projeto. Inicia-se pelo estudo do projeto elétrico e o estudo das proteções necessárias ao dimensionamento. Com este estudo prévio, tornou-se possível o cálculo e dimensionamento dos circuitos, dos condutores e do quadro elétrico que constituem a instalação elétrica pré-fabricada, a qual irá ser incorporada na parede infraestruturada. Avançou-se, de seguida, com a concretização de todo o projeto, desde a alocação de trabalhadores para os postos de trabalho estipulados, a gestão do espaço e a sua divisão em três secções principais e a definição da linha de montagem que permitiu o processo de fabricação mais eficiente. Este processo de fabricação foi dividido em três fases principais – preparação, montagem e finalização, onde os colaboradores têm participação ativa e diferenciada nas demais tarefas. O capítulo encerra com o estudo da viabilidade da solução, primeiramente marcado pela execução e obtenção dos resultados favoráveis dos ensaios realizados nos quadros elétricos. Estes ensaios permitiram identificar erros e/ou problemas associados à aparelhagem do quadro elétrico de modo a que, quando estes chegam ao cliente final, este possua uma documentação detalhada que comprove e certifique a qualidade do produto final. Por fim, a avaliação da viabilidade da solução apresentou resultados positivos e esclarecedores no que concerne à utilização e implementação de instalações elétricas em BT pré-fabricadas, em prol da conceção de instalações elétricas em ambiente de obra, como tem vindo a ser feito no processo construtivo tradicional.

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

4.1. CONCLUSÕES

A industrialização do processo construtivo é uma temática recente e em expansão. Ainda mais quando se fala na conceção de instalações elétricas de baixa tensão em ambiente de fábrica (*off-site*). O presente trabalho pretendeu fornecer o seu contributo para estas temáticas uma vez que foi desenvolvido o estudo da inclusão de sistemas elétricos de fácil e rápida instalação em construções modulares *off-site*.

O principal objetivo passou por demonstrar a viabilidade da implementação da industrialização de instalações elétricas e do seu uso na construção *off-site*, como metodologia inovadora, prática e sustentável. Deste modo, foram produzidas paredes infraestruturadas, pré-fabricadas, compostas pela instalação elétrica de um quarto de hotel. Estas paredes infraestruturadas, após serem produzidas, foram incorporadas num módulo *off-site* de um WC, instalado numa obra de um hotel constituído por 90 quartos *standard*.

A utilização da tecnologia BIM permitiu criar digitalmente os modelos virtuais precisos, em 3D, contendo a geometria e dados precisos necessários para o apoio às atividades de fabricação e instalação das paredes infraestruturadas.

O estudo da industrialização de instalações elétricas e a sua implementação na construção *off-site* apresentou benefícios, quando comparada com o método de construção tradicional, a nível de tempos de execução, custos envolvidos, qualidade do produto, segurança e proteção dos trabalhadores e ainda a nível ambiental.

O caso de estudo desta dissertação colocou em prática a implementação de instalações elétricas pré-fabricadas, em paredes infraestruturadas que integraram o módulo *off-site* do WC dos 90 quartos do hotel B&B Oeiras. Os resultados deste projeto indicaram uma poupança de tempo de fabricação e instalação na ordem dos 37,5% e de custos na ordem dos 5%. Verificou-se, também uma segurança e proteção dos trabalhadores envolvidos, durante o período de trabalhos, uma vez que estes foram maioritariamente realizados em contexto de fábrica (*off-site*). O desenvolvimento e dimensionamento prévio de todo o projeto permitiu a deteção de erros e imprevistos, garantindo uma maior qualidade do produto final. Por fim, a utilização de materiais mais sustentáveis como a madeira, a ausência de utilização de maquinaria, a redução dos transportes entre fábrica e obra e, também, a redução de perturbações no local de obra (*on-site*), comprovaram o benefício ambiental da implementação desta solução. A viabilidade da implementação dos elementos produzidos em módulos pré-fabricados permitiu, assim, a rápida e fácil instalação de instalações elétricas nas construções *off-site* levadas a cabo pela construtora Grupo Casais.

Em suma, os resultados obtidos neste trabalho possibilitam dar um contributo fulcral ao avanço da construção *off-site* e, em particular, à implementação de instalações elétricas de baixa tensão pré-fabricadas, permitindo um processo de construção mais rápido, eficiente e sustentável.

Relativamente aos contributos do candidato, a realização do estágio permitiu a elaboração de um projeto inovador que a empresa pretende utilizar no processo construtivo *off-site* que tem vindo a ser feito, acrescentando valor e complexidade ao produto final desta tecnologia e contribuindo para catapultar o nome do Grupo Casais para a vanguarda do processo construtivo inovador e industrializado, no mercado de construção português. Este projeto permitiu ainda a criação de três postos de trabalho.

A realização do presente trabalho e a participação ativa no trabalho desenvolvido pela Quadrina durante estágio, permitiu a consolidação e assimilação de conhecimentos para além do que seria expectável em ambiente académico. Embora todas as unidades curriculares lecionadas sejam importantes na formação do profissional na área dos sistemas elétricos de energia, este projeto

permitiu sobretudo a aplicação de conhecimento e conteúdos curriculares de unidades curriculares como “Instalações Elétricas Especiais”, “Qualidade de Serviços em Sistemas Elétricos de Energia” e “Gestão de Projeto em Sistemas Elétricos de Energia”.

4.2. TRABALHOS FUTUROS

Após os conhecimentos adquiridos com a realização deste projeto, é maior o entusiasmo perante os novos desafios que possam surgir, pelo investimento crescente que o mercado da construção tem feito nesta nova temática e pelo progressivo avanço tecnológico nesta área.

Contudo, o facto de o trabalho desenvolvido nesta dissertação estar inserido numa temática relativamente recente permite que haja espaço para melhorias quantitativas e qualitativas tanto no processo de produção de instalações elétricas de baixa tensão pré-fabricadas e nos constituintes utilizados, como no *modus operandi* de todo o projeto.

No que concerne ao processo de produção, entende-se que a aplicação deste projeto em obras de maior dimensão, com sistemas elétricos mais elaborados e com maior coordenação entre as especialidades que intervêm, permitirá o aumento de mão de obra, um maior aproveitamento da tecnologia BIM e um maior aperfeiçoamento, resultando numa maior industrialização do processo e numa acentuação significativa dos benefícios obtidos.

Constata-se também que a pesquisa futura sobre novas matérias a serem incorporadas – mais baratas e mais sustentáveis, bem como os avanços científicos e tecnológicos da industrialização da construção, da construção *off-site* e do pré-fabrico de instalações elétricas, possam impulsionar significativamente a industrialização de instalações elétricas de BT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. M. Fabricio, “Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos,” *Pós. Rev. do Programa Pós-Graduação em Arquitetura e Urban. da FAUUSP*, vol. 20, no. 33 SE-, pp. 228–248, Jun. 2013, doi: 10.11606/issn.2317-2762.v20i33p228-248.
- [2] G. Girmscheid, I. C. for R. and I. in B. and Construction., and T. G. I. in Construction., *New perspective in industrialisation in construction : a state-of-the-art report ; CIB Task Group 57 “Industrialisation in Construction.”* Zurich: Eigenverl. des IBB an d. ETH Zurich, 2010.
- [3] W. Ning and Y. Ji, *Analysis on Key Factors to Affect Construction Industrialization Development in China.* 2010.
- [4] C. Grills, “Industrialization of the construction industry through prefabrication and adoption of current technologies.” 2013.
- [5] K. Hossein, S. Yongwei, and L. Phil, “A Case Study of Productivity Improvement by Electrical Prefabrication,” *Construction Research Congress 2016.* pp. 1753–1761,

- Feb. 2016, doi: doi:10.1061/9780784479827.175.
- [6] S. Johnson, “Improving Construction Safety with Prefabrication and Modular Construction Technology,” 2019. .
- [7] K. T. M. and L. Na, “Innovation and Improvements of Mechanical, Electrical, and Plumbing Systems for Modular Construction Using Building Information Modeling,” *AEI 2011*. pp. 448–455, Feb. 2021, doi: doi:10.1061/41168(399)52.
- [8] R. E. SMITH, “Off-site and modular construction explained,” *Off-Site Constr. Counc. Natl. Inst. Build. Sci.*, 2016.
- [9] M. Moradibistouni, B. Vale, and N. Isaacs, “Investigating the Level of Sustainability in Off-Site Construction BT - Sustainable Design and Manufacturing 2019,” 2019, pp. 101–110.
- [10] M. Kamali and K. Hewage, “Life cycle performance of modular buildings: A critical review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 1171–1183, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>.
- [11] N. Blismas, C. Pasquire, and A. Gibb, “Benefit evaluation for off-site production in construction,” *Constr. Manag. Econ.*, vol. 24, no. 2, pp. 121–130, Feb. 2006, doi: 10.1080/01446190500184444.
- [12] S. C. M. Hui and G. Or, *Study of prefabricated building services components for residential buildings in Hong Kong*. 2005.
- [13] P. Mays, “Prefabrication and Industrialized Construction,” *Compass—The 3DEXPERIENCE Magazine*, 2021.
- [14] L. R. Mark, O. R. G., and B. Rory, “Application of Modular Construction in High-Rise Buildings,” *J. Archit. Eng.*, vol. 18, no. 2, pp. 148–154, Jun. 2012, doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057.
- [15] R. E. SMITH and J. TIMBERLAKE, *Prefab architecture : a guide to modular design and construction*. 2011.
- [16] Building and Construction Authority, “Prefabricated Mechanical, Electrical and

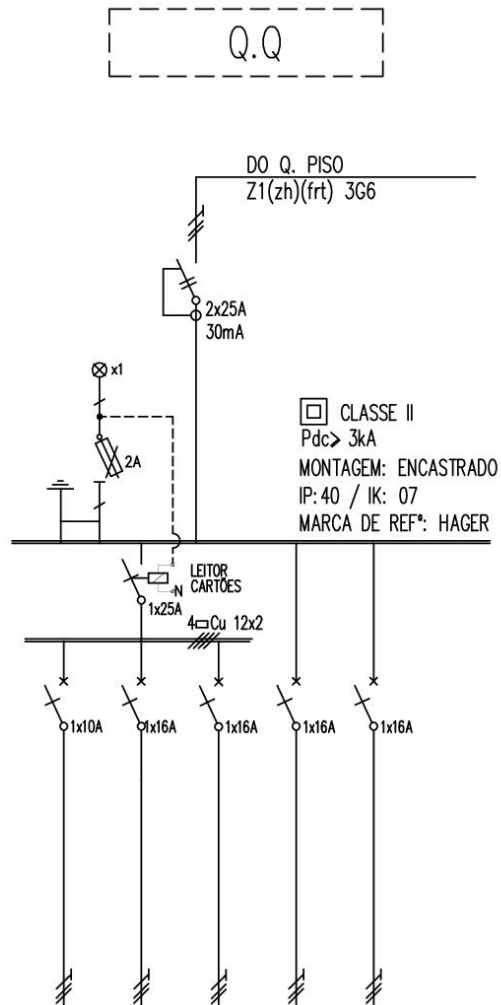
- Plumbing (MEP) Systems,” 2020.
- [17] G. Jingjing and W. Qian, “Dimensional Quality Inspection of Prefabricated MEP Modules with 3D Laser Scanning,” *Computing in Civil Engineering 2019*. pp. 171–177, Feb. 2021, doi: doi:10.1061/9780784482438.022.
- [18] Electrical Contractor’s Association, “Modular housing and electrical circuitry,” 2020. .
- [19] Building and Construction Authority, “Prefabricated Prefinished Volumetric Construction,” 2020.
- [20] Ministério da Economia e da Inovação, “Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão,” *Diário da República*, pp. 6682-(2) a 6689-(191), 2006.
- [21] R. Coyle, “Understanding the Pros and Cons of Prefabricated Electrical Power Distribution Solutions,” *PCX Corp - Modular Construction*, 2020. .
- [22] Building and Construction Authority, “BIM Essential Guide for MEP,” 2013.
- [23] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, and P. Teicholz, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*. 2018.
- [24] J. Farooq, P. Sharma, and S. R, “Applications of Building Information Modeling in Electrical Systems Design,” *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 10, pp. 119–128, Dec. 2017, doi: 10.25103/jestr.106.16.
- [25] L. Na and K. Thomas, “Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction: Benefits and Challenges,” *Construction Research Congress 2010*. pp. 1136–1145, Feb. 2021, doi: doi:10.1061/41109(373)114.
- [26] N. N. O., “BIM Standard in Off-Site Construction,” *J. Archit. Eng.*, vol. 18, no. 2, pp. 107–113, Jun. 2012, doi: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000056.
- [27] R. E. SMITH, “Off-Site And Modular Construction Explained,” *Whole Building Design Guide*, 2016. .
- [28] M. Laruccia, “Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil,” *ENIAC*

Pesqui., vol. 3, pp. 69–84, Jun. 2014, doi: 10.22567/rep.v3i1.124.

- [29] GEA, *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2012.
- [30] World Commission on Environment and Development (WCED), “Our Common Future,” *Oxford Univ. Press*, 1987.
- [31] M. T. Gorgolewski, “The Potential for Prefabrication in UK Housing to Improve Sustainability,” *Smart & Sustainable Built Environments*. pp. 119–128, Jun. 2005, doi: <https://doi.org/10.1002/9780470759493.ch12>.
- [32] K. Britto, J., Dejonghe, N., Dubuisson, M., Schmandt, “Business plan for green modular housing,” University of California, 2008.
- [33] P. Bell, “Prefab + Green: past, present and future,” 2012.
- [34] A. Gomes, H. Ribeiro da Silva, and J. Beleza Carvalho, *Instalações Eléctricas de Baixa Tensão: Dimensionamento e Protecção de Canalizações Eléctricas*, 2ª Edição. Engebook, 2019.
- [35] J. Matias, “Protecção contra Sobreintensidades — Sobrecargas,” *Voltimum*, 2018. <https://www.voltimum.pt/artigos/licoes-de-electricidade/eletrotecnia-4> (accessed Oct. 09, 2021).
- [36] Instituto Eletrotécnico Português (IEP), “Eletricidade em Casa - Guia para a Segurança na sua Utilização,” 2002.
- [37] J. P. T. Saraiva, “Dimensionamento e Protecção de Canalizações Eléctricas em Baixa Tensão,” FEUP, 2000.
- [38] J. Matias, *Instalações Eléctricas 2*, 1ª Edição. Plátano Editora, 2013.
- [39] J. Matias, *Instalações Eléctricas 1*, 1ª Edição. Plátano Editora, 2013.

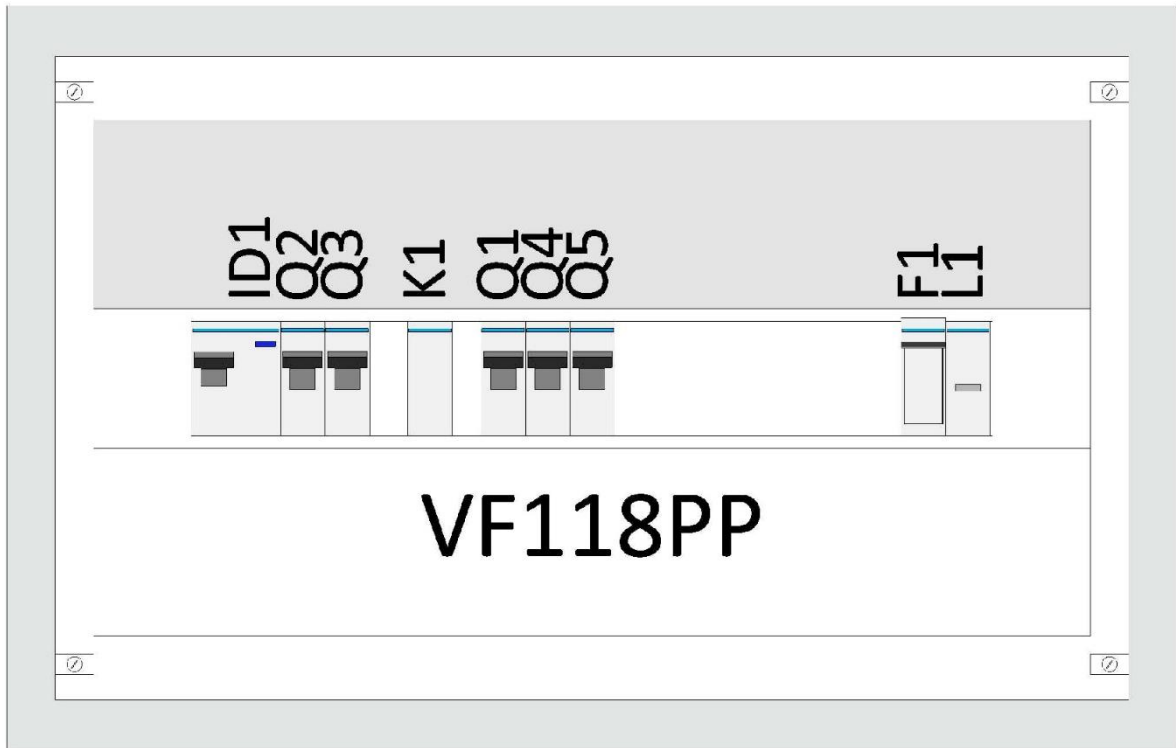
ANEXOS

Anexo A – Esquema Unifilar do Q.Q.

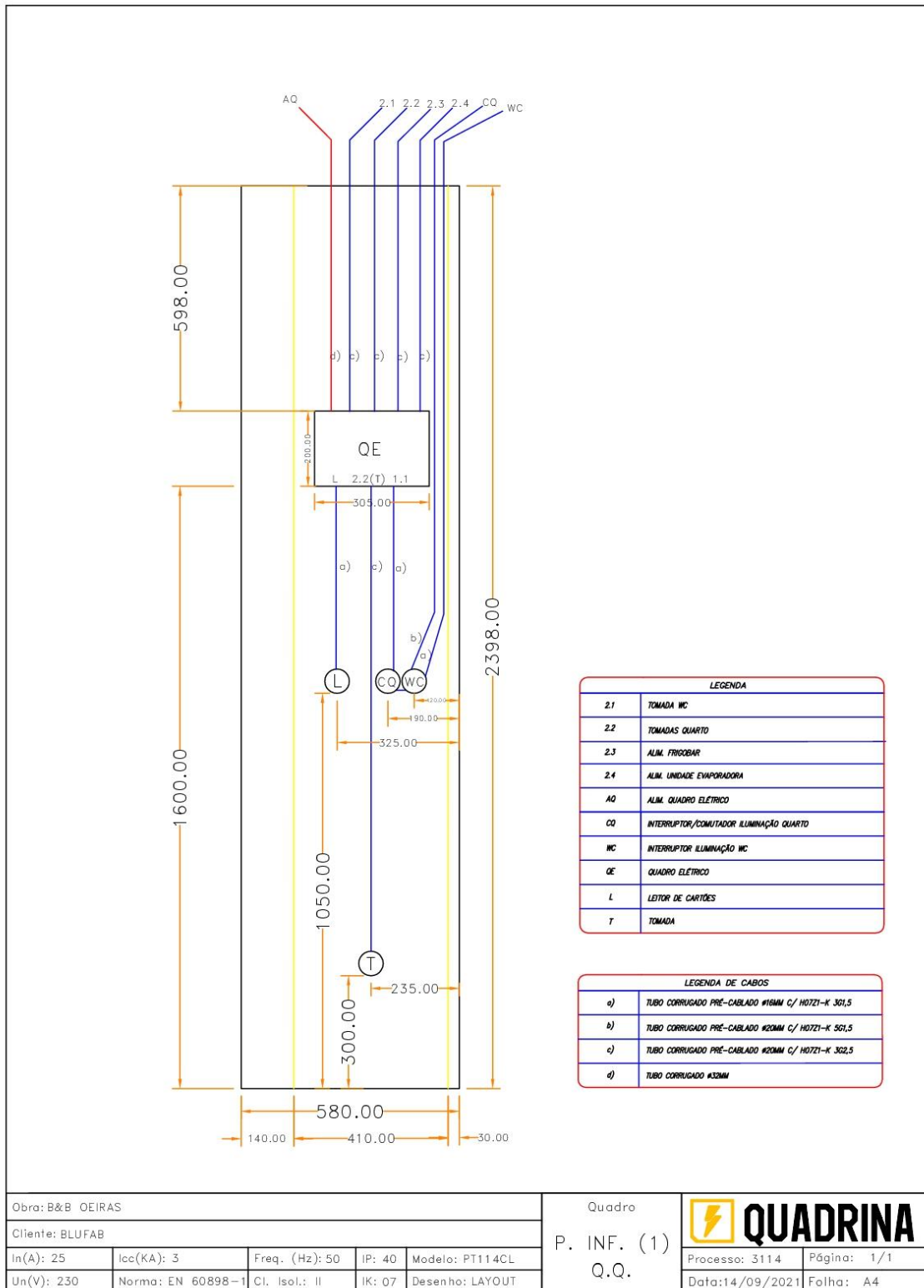


N° CIRC.	1.1	2.1	2.2	2.3	2.4	RESERVA DE ESPAÇO – 20 %
FASES	-	-	-	-	-	
POT.(VA)	-	-	-	-	-	
CARACTERÍSTICAS	VD(zh)16/ERM16 H07Z1-K 3G1,5	VD(zh)20/ERM20 H07Z1-K 3G2,5	VD(zh)20/ERM20 H07Z1-K 3G2,5	VD(zh)20/ERM20 H07Z1-K 3G2,5	VD(zh)20/ERM20 H07Z1-K 3G2,5	
DESTINO	ILUMINAÇÃO	TOMADAS WC	TOMADAS	ALIM. FRIGOBAR	ALIM. UNIDADE EVAPORAD.	

Anexo B – “Layout” do Q.Q.



Anexo C – Esquema Elétrico P.INF.1



Anexo E – Tabela de Comprimentos

P.INF. - Parede Infraestruturada
Dimensionamento da Cablagem

Elaborado por: Ricardo Rego
Quadrina - Quadros Elétricos, Lda.

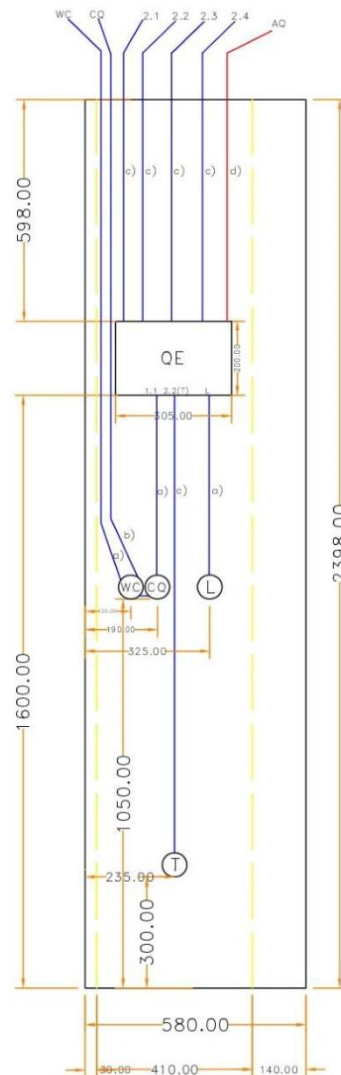
Legenda cabos:

a)	Ane. 16Ø 3G1,5
b)	Ane. 20Ø 5G1,5
c)	Ane. 20Ø 3G2,5
d)	Ane. 32Ø

Ligações e tipos de cabos:

AQ (Ext.) -> QE	d)
2.1 QE -> Tomada WC	c)
2.2 (T) QE -> Tomada P.Inf.	c)
2.2 (Q) QE -> Tomada Quarto	c)
2.3 QE -> Frigobar	c)
2.4 QE -> Unidade Evaporadora	c)
1.1 QE -> Caixa Ap. Dupla	a)
CQ CQ -> Iluminação Quarto	b)
WC WC -> Iluminação WC	a)
L QE -> Leitor de Cartões	a)

Comprimento dos cabos	C(mm)	Total (m)
AQ Ascensão ao teto-falso	600	
AQ Margem p/ ligação a quarto de piso	1400	2,00
2.1 Ascensão ao teto-falso	600	
2.1 Extensão teto-falso	2500	
2.1 Abaixamento Tomada WC	1300	5,00
2.1 Margem p/ pontas de cabos	600	
2.2 (T) Abaixamento pela P.Inf. até tomada	1700	2,30
2.2 (T) Margem p/ pontas de cabos	600	
2.2 (T) Ascensão ao teto-falso	600	
2.2 (Q) Extensão teto-falso	3400	
2.2 (Q) Abaixamento Tomada Q.	2098	6,70
2.2 (Q) Margem p/ pontas de cabos	600	
2.3 Ascensão ao teto-falso	600	
2.3 Extensão teto-falso	2700	
2.3 Abaixamento Frigobar	2098	6,00
2.3 Margem p/ pontas de cabos	600	
2.4 Ascensão ao teto-falso	600	
2.4 Extensão teto-falso	3300	4,50
2.4 Margem p/ pontas de cabos	600	
1.1 Abaixamento pela P.Inf. até caixa dupla	650	1,30
1.1 Margem p/ pontas de cabos	650	
CQ Ascensão ao teto-falso	1300	
CQ Extensão teto-falso	6800	
CQ Abaixamento até inversor	1300	10,00
CQ Margem p/ pontas de cabos	600	
WC Ascensão ao teto-falso	1300	
WC Extensão teto-falso	1300	
WC Abaixamento até ponto-luz WC	100	3,30
WC Margem p/ pontas de cabos	600	
L Abaixamento pela P.Inf. até leitor de cartões	650	1,30
L Margem p/ pontas de cabos	650	




Anexo F – Relatório de Testes

QUADRINA - QUADROS ELÉTRICOS, Lda Praceta Padre Sena de Freitas nº160 4700-238 Maximinos Braga - Portugal			
Nº	Medições	Resultado:	Descrição
17	3114\B&B OEIRAS\0477.3114.21\17 MΩ - Temporização 20/10/2021 17:46:00	Ok	Q.QUARTO
	MΩ - Temporização		
	Vmeas (+)	515 V	
	Ri	>500 MΩ	Ok
	Tempo total	5 s	
	VPN	0 V	
18	3114\B&B OEIRAS\0477.3114.21\18 Teste dieléctrico - Teste manual corrente "Real" 20/10/2021 17:46:00	Ok	Q.QUARTO
	Teste dieléctrico - Teste manual corrente "Real"		
	Re(I)	0 mA	Ok
	Vúlt.	1 830 V	
	Tempo do Teste	6 s	

Anexo G – Relatório de Controlo de Qualidade

Item		Características	Verificação			Obs.
			C	NC	NA	
Obra: Hotel B&B Oeiras Quadro: Q.QUARTO Processo: 3114 Nº Série: Q0477.3114.21						
Un: 230 V In: 25 A Pdc: 3 kA IP: 40 IK: 07 Freq.: 50 Hz Classe Isol.: II Reg. Neutro: TT Norma: EN 60898-1						
1	Aspeto Visual do Quadro Elétrico		✓			
2	Características dos Materiais					
2.1	Calibre dos disjuntores de acordo com os esquemas		✓			
2.2	Pdc dos disjuntores de acordo com os esquemas		✓			
2.3	Sensibilidade dos diferenciais de acordo com os esquemas		✓			
3	Cablagem e Apertos					
3.1	Condutores devidamente apertados e identificados		✓			
Equipamento utilizado: USAG 810N 200 <input type="checkbox"/> USAG 811N 50 <input type="checkbox"/> USAG 810N 25 <input type="checkbox"/>						
4	Ligações Equipotenciais					
4.1	Equipotencialidade nos diversos pontos de ligação		✓			
5	Circuitos de Potência e Comando					
5.1	Funcionamento dos equipamentos de proteção		✓			
5.2	Funcionamento dos equipamentos de manobra		✓			
5.3	Funcionamento dos contadores/analísadores				✓	
5.4	Funcionamentos dos comandos				✓	
5.5	Funcionamentos das sinalizações		✓			
6	Ensaio Elétricos de Rotina					
6.1	Ensaio de continuidade do circuito terra:					
	Conformidade do teste				✓	Ver relatório em anexo
6.2	Ensaio da resistência de isolamento:					
	Conformidade do teste		✓			Ver relatório em anexo
6.3	Ensaio de rigidez dielétrica:					
	Conformidade do teste		✓			Ver relatório em anexo
Equipamento utilizado: HT FULLTEST 3 // N.º Série: 1504606						
7	Documentação Técnica					
7.1	Limpeza Geral		✓			
7.2	Manual de instruções		✓			
7.3	Esquemas elétricos devidamente atualizados		✓			
7.4	Identificação de todos os circuitos		✓			
7.5	Chapa de características		✓			
7.6	Declaração UE		✓			

C - Conforme | NC - Não Conforme | NA - Não Aplicável

Quadro Conforme Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	Teste efetuado na data: 25.10.2021	Verificado por: Ricardo Manuel Pinheiro	Técnico 
---	---------------------------------------	--	--

Anexo H – Declaração UE de Conformidade

MORADA/ADDRESS
PRACETA PADRE SENA DE FREITAS
Nº160 - MAXIMINOS
4700-239 BRAGA - PORTUGAL
TEL.: +351 253 145 040
WEB: WWW.QUADRINA.PT
EMAIL: ORCAMENTOS@QUADRINA.PT



QUADRINA
Quadros Elétricos

Declaração UE de Conformidade

Declaramos sob nossa inteira responsabilidade que o Quadro Elétrico de Baixa Tensão citado abaixo cumpre as Diretivas e Normas Europeias aplicáveis.

Caraterísticas Técnicas					
Quadro:	Q.QUARTO			Nº Série:	Q0477.3114.21
Un:	230 V	IP:	40	Classe Isol.:	II
In:	25 A	IK:	07	Reg. Neutro:	TT
Pdc:	3 kA	Freq.:	50 Hz	Norma:	EN 60898-1

Sob reserva de instalação e colocação em serviço, manutenção ou de utilização conforme o seu destino, a regulamentação, as normas em vigor, as nossas instruções e as regras da arte,

Satisfaz as disposições das seguintes diretivas europeias:

- Diretiva de Baixa Tensão - 2014/35/UE de 26 de Fevereiro de 2014 Transposta pelo Decreto-Lei 21/2017 de 21 de Fevereiro.
- Diretiva de Compatibilidade Eletromagnética - 2014/30/UE de 26 de Fevereiro de 2014 Transposta pelo Decreto-Lei 31/2017 de 22 de Março.
- Decreto-Lei nº 226/2005 de 28 de Dezembro.
- Norma EN 61439.1:2011 - Regras Gerais.
- Norma EN 61439.2:2011 - CONJUNTOS de aparelhagem de potência e comando.

Braga, 25 de outubro de 2021

Assinatura *Ricardo Manuel Pinheiro Rego*
Ricardo Manuel Pinheiro Rego, Eng.º
Diretor de Produção

Anexo I – Manual de Utilização/Instalação

Quadrina – Quadros Elétricos, Lda

4. ENSAIOS FUNCIONAIS

Depois de instalados os quadros em obra, devem-se realizar alguns ensaios para garantir o bom funcionamento dos mesmos e das respetivas instalações.

Devem-se efetuar os seguintes ensaios:

- verificação do funcionamento dos diversos circuitos da instalação;
- verificação da identificação nos equipamentos de proteção e de corte;
- verificação da Declaração de Conformidade UE TIPO.

5. INSTRUÇÕES DE UTILIZAÇÃO/MANUTENÇÃO

Para assegurar o bom funcionamento do quadro elétrico, é pedido ao utilizador que siga as seguintes indicações:

- semestralmente, a QUADRINA recomenda a solicitação de um técnico qualificado, para que seja realizada a manutenção do quadro (verificação dos apertos dos condutores elétricos, verificação se algum dos equipamentos se encontra em sobreaquecimento).
- não deverá alterar qualquer ligação feita no interior do quadro. Caso o pretenda, a Quadrina aconselha a solicitação de um técnico qualificado para esse fim.

6. EXCLUSÕES E LIMITAÇÕES DE RESPONSABILIDADE DA GARANTIA

Os nossos quadros tem a garantia durante o período de 2 anos após a emissão da fatura, contra defeitos de fabrico e utilização normal.

Excluem-se os quadros que tenham sido danificados ou tornados defeituosos:

- em resultado de alguma modificação do quadro elétrico;
- em resultado de reparações feitas por funcionários que não sejam da Quadrina ou nem autorizados por esta;
- em resultado de instalação incorreta e manuseamento.

4

Quadrina – Quadros Elétricos, Lda



MANUAL DE UTILIZAÇÃO/INSTALAÇÃO

Quadrina – Quadros Elétricos, Lda.

Praceta Padre Sena de Freitas, 160
4700-239 Braga
Telefone: 253 145 040
e-mail: orcamentos@quadrina.pt

1

Mod.019.0 Elaborado por: Duarte Costa Aprovado por: Hélder Carmelita Revisão: 0 Data: 15/11/2017

Quadrina – Quadros Elétricos, Lda

1. TRANSPORTE

2. INSTALAÇÃO

3. COLOCAÇÃO EM SERVIÇO

4. ENSAIOS FUNCIONAIS

5. INSTRUÇÕES DE UTILIZAÇÃO/MANUTENÇÃO

6. GARANTIA

1. TRANSPORTE

Durante o transporte os quadros elétricos devem ser mantidos na vertical sempre que possível. Caso não seja possível, devem ser acauteladas todas as medidas para que o quadro seja transportado de forma segura.

O manuseamento das estruturas deverá ser realizado de duas formas:

- Base: com o auxílio de um porta paletes ou um empilhador;
- Topo: através do engate feito nos anéis de elevação fixos ao armário, utilizando cintas resistentes devendo estas serem ajustadas para que se possa manter o equilíbrio do quadro bem como o seu estado de conservação.

A Quadrina não se responsabiliza por quaisquer danos causados pelo transporte.

2. INSTALAÇÃO

O local de instalação do quadro elétrico deve estar devidamente preparado, limpo e nivelado.

Quando a entrada dos cabos é feita pela parte superior do quadro deve garantir-se um espaço livre de forma a permitir a correta entrada dos cabos.

2

Quadrina – Quadros Elétricos, Lda

Quando a entrada dos cabos é feita pela traseira do quadro deve garantir-se espaço suficiente entre o quadro e a parede, para permitir a abertura dos painéis e a intervenção do operador. Contudo, a localização do quadro deve garantir que as grelhas de ventilação não ficam obstruídas.

Maioria dos quadros têm a parte superior pré cortada facilitando a entrada dos cabos. Em alternativa os quadros possuem espaço para furação e colocação de buçins.

Qualquer intervenção no quadro para permitir a passagem dos cabos não pode comprometer o grau de proteção de origem, por isso, qualquer chapa que seja cortada deve ser repintada para evitar a oxidação e revestida com uma proteção de forma a evitar o ferimento dos cabos.

Os cabos devem estar fixos o mais próximo possível das ligações para não forçarem os terminais dos aparelhos.

Todos os cabos devem ser devidamente marcados de forma a facilitar intervenções futuras. A sua marcação deve ser numérica, alfabética, alfanumérica e colocada na extremidade do condutor.

Após concluir todas as ligações deve limpar o quadro (no interior através de aspiração e no exterior com produtos que não danifiquem a pintura) e colocar os acessórios que asseguram os índices de proteção (IP) do quadro (teto, fecho passa cabo, moldura de proteção, etc.).

3. COLOCAÇÃO EM SERVIÇO

Apesar de os quadros serem submetidos a ensaios em fábrica, para confirmar que não ocorreram danos durante o transporte, deve ser feita uma inspeção antes da colocação em serviço. Para isso seguem-se alguns requisitos:

- verificar se o quadro não foi perfurado, amolgado ou riscado;
- verificar o aperto dos condutores elétricos, sem modificar as ligações feitas no interior do quadro;
- cumprir o esquema elétrico, confrontando a descrição dos circuitos (o esquema e o que se encontra instalado na obra, de modo a garantir a correta correspondência).

3