

Simulação Dinâmica e Análise do Desempenho Energético do Edifício da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Bragança

Gilberto Martins Correia Junior

Tese apresentada para a Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) no contexto do programa de Dupla Diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) para obtenção do grau de Mestre em

Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Supervisionado por:

Professor Doutor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares (IPB)

Professora Doutora Patrícia Romeiro da Silva Jota (CEFET-MG)

Bragança, Portugal

2020

AGRADECIMENTOS

Nesse tópico gostaria de prestar meus agradecimentos a todos que estiveram envolvidos na minha vida acadêmica e pessoal durante todo este percurso.

Sou grato ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e ao Instituto Politécnico de Bragança por me proporcionarem a oportunidade de chegar onde estou hoje.

Agradeço aos meus orientadores Orlando Soares e Patrícia Romeiro por toda ajuda prestada e diponibilidade mostrada, que contribuíram para realização deste trabalho.

E por fim, mas não menos importante, à minha família e amigos, que me proporcionaram ajuda necessária, apoio e encorajamento para estar onde estou agora e obter este tão esperado resultado.

RESUMO

Atualmente os edifícios de habitação e serviços são responsáveis por um consumo de cerca de 40% da energia final na Europa, enquanto que em Portugal, esse número está em torno de 30%. Devido a alta demanda de energia para esse setor, surgem preocupações concernentes a eficiência de seu uso. Assim, torna-se fundamental o estudo do comportamento energético dos edifícios, que consiste na caracterização do mesmo e utilização, por exemplo, de ferramentas de simulação dinâmica multizona, estando certificadas e homologadas pela norma ASHRAE 140, para construção de um modelo de simulação que pode ser utilizado para realização da análise do seu desempenho energético.

Para o presente trabalho foi necessário realizar um levantamento de dados no edifício da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Bragança, incluindo cargas elétricas e térmicas, sistemas de iluminação e climatização, plantas do edifício e faturas de consumo de energia elétrica e gás natural dos últimos anos. Os dados foram utilizados para criação de um modelo de simulação dinâmica, calibrado para se aproximar o melhor possível do edifício real, utilizando o *software DesignBuilder*. Uma vez concluído o modelo de simulação e realizada a sua calibração, o mesmo pode ser utilizado para estudo do comportamento energético do edifício, bem como para análise do impacto da instalação de medidas de melhorias de eficiência energética.

O modelo computacional foi calibrado e apresentou um erro de 0,39% em relação ao consumo global real. Com os dados de simulação, foi possível propor melhorias para o edifício, principalmente em relação a sua envolvente, uma vez que foram constatadas altas perdas de calor através das paredes externas e cobertura. Foram analisadas algumas propostas de instalação de isolamento térmico na envolvente, entre as quais foi possível encontrar uma solução que atendesse aos requisitos mínimos para o coeficiente de transmissão térmica da envolvente de edifícios para a zona climática onde o edifício em estudo está localizado. Obteve-se uma redução no consumo total de 22%, com um tempo de retorno de investimento em torno de 14 anos. Com a simulação das medidas de melhoria, foram avaliadas também as reduções na perda de calor pela envolvente do edifício e nas emissões de dióxido de carbono.

Palavras chave: Eficiência Energética, Simulação Dinâmica Multizona de edifícios, DesignBuilder.

ABSTRACT

Currently, residential and service buildings are responsible for a consumption of around 40% of final energy in Europe, while in Portugal, this number is around 30%. Due to the high demand for energy for this sector, concerns arise regarding the efficiency of its use. Thus, it is essential to study the energetic behavior of buildings, which consists of characterizing it and using, for example, multizone dynamic simulation tools, being certified and homologated by the ASHRAE 140 standard, to build a simulation model that can be used to perform the analysis of its energy performance.

For this work, it was necessary to carry out a data survey in the building of the School of Health of the Polytechnic Institute of Braganza, including electrical and thermal loads, lighting and air conditioning systems, building plans and electricity and natural gas consumption bills of the last years. The data were used to create a dynamic simulation model, calibrated to approach the real building as closely as possible, using the *DesignBuilder software*. Once the simulation model is completed and properly calibrated, it can be used to study the building's energy behavior as well as to analyze the impact of installing energy efficiency improvement measures.

The computational model was calibrated and presented an error of 0.39% in relation to the real global consumption. Using the simulation data, it was possible to propose improvements to the building, mainly in relation to its surroundings, since high heat losses were found through the external walls and roof. Some proposals for installing thermal insulation in the surroundings were analyzed, among which it was possible to find a solution that met the minimum requirements for the thermal transmission coefficient of the surroundings of buildings for the Braganza climatic zone, where the building in study is located. It was estimated, through simulation, a reduction of 22% in the global consumption of the building, with a return on investment of around 14 years., It was also evaluated what were the reductions in heat loss by the building envelope and in the carbon dioxide emissions with the installation of the improvements.

Keywords: Energy Efficiency, Multizone Dynamic Simulation of Buildings, DesignBuilder.

ÍNDICE

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Método	3
1.4	Estrutura do relatório.....	3
2	Enquadramento legal e regulamentos	5
2.1	Diretiva n. º 2010/31/EU	5
2.2	Decreto-Lei n. º 118/2013	6
2.2.1	Sistema de Certificação Energética (SCE).....	7
2.2.2	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) 8	8
2.2.3	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).....	8
3	Desempenho Energético de um Edifício de Serviços.....	10
3.1	Indicador de Eficiência Energética	10
3.2	Tipos de Indicador de Eficiência Energética	11
3.3	Métodos de determinação dos indicadores de Eficiência Energética Previsto (IEEPR) e Efetivo (IEEEF)	12
3.3.1	Método de previsão do IEEPR por Simulação Dinâmica	12
3.3.2	Método de previsão do IEEPR por Cálculo Dinâmico Simplificado	13
3.3.3	Método de determinação do IEEEF por Consumo Efetivo	13
3.4	Simulação Dinâmica	14
3.4.1	<i>EnergyPlus</i> e <i>DesignBuilder</i>	14
3.5	Coeficiente de Transmissão Térmica (U)	17
4	Eficiência energética em edifícios.....	20
4.1	Isolamento de Paredes.....	20
4.2	Isolamento da cobertura.....	23
4.3	Janelas Eficientes.....	24

4.4	Proteções solares.....	25
4.5	Iluminação	26
5	Caso de estudo.....	28
5.1	Recolha de informação e caracterização energética.....	30
5.1.1	Consumos Energéticos.....	30
5.1.2	Emissões de Dióxido de Carbono associadas.....	32
5.1.3	Indicador de Eficiência Energética do edifício	33
5.1.4	Iluminação.....	34
5.1.5	Sistema de Aquecimento	34
5.1.6	Perfil de temperatura externa e radiação solar.....	35
5.2	Modelização no <i>DesignBuilder</i>	36
5.3	Validação do modelo e Resultados	41
6	Propostas de melhorias.....	46
6.1	Paredes externas	46
6.2	Cobertura.....	48
6.3	Redução nas perdas de calor pela envolvente.....	50
6.4	Redução nas emissões de dióxido de carbono	51
7	Conclusão.....	52
7.1	Trabalhos futuros.....	52
	Referências	54
	ANEXO A – Levantamento de dados Iluminação	56
	ANEXO B – Levantamento de dados Arrefecimento.....	59
	ANEXO C – Plantas do edifício.....	61

Lista de Figuras

Figura. 1. Consumo final de energia – Portugal 2019 [1].	2
Figura. 2. Hierarquia básica de um modelo no <i>DesingBuilder</i> [1]	15
Figura. 3. Variáveis para cálculo da transmitância térmica. (ANEXO C)	18
Figura. 4. Instrumento Testo 435-2	19
Figura. 5. Tipos de paredes construídas em Portugal [10].	20
Figura. 6. Zonas climáticas em Portugal [10].	21
Figura. 7. Tipos de aplicação das soluções de isolamento nas paredes externas [10].	23
Figura. 8. Tipos de aplicação das soluções de isolamento na cobertura [11].	24
Figura. 9. Soluções de janelas instaladas em Portugal [12]	25
Figura. 10. Representação gráfica do modelo construído no DesignBuilder (Frente)	28
Figura. 11. Representação gráfica do modelo construído no DesignBuilder (Trás)	29
Figura. 12. Visualização 3D do edifício e diagrama solar	29
Figura. 13. Consumo energético nos anos de 2018 e 2019 (ESSA)	31
Figura. 14. Consumo energético mensal (ESSA)	32
Figura. 15. Perfil de temperatura externa ao edifício.	35
Figura. 16. Variação da radiação solar direta e difusa anuais na região do edifício.	36
Figura. 17. Composição das paredes externas.	37
Figura. 18. Composição dos pavimentos em contato com o solo.	38
Figura. 19. Composição dos pavimentos intermédios.	38
Figura. 20. Composição da cobertura.	39
Figura. 21. Detalhe de iluminação natural na cobertura.	39
Figura. 22. Dimensões das gralhas metálicas de sombreamento nas janelas e portas envidraçadas.	40
Figura. 23. Consumos mensais de gás natural reais e simulados	42
Figura. 24. Consumos mensais de energia elétrica reais e simulados	42
Figura. 25. Emissões de dióxido de carbono reais e simuladas	43
Figura. 26. Gráfico da temperatura externa ao edifício.	43
Figura. 27. Necessidades de aquecimento calculada para o edifício.	44
Figura. 28. Transferência de calor pela envolvente do edifício.	44
Figura. 29. Ganhos internos de calor no edifício.	45
Figura. 30. Consumo global anual por categorias do edifício.	45
Figura. 31. Transferência de calor pela envolvente após a instalação de EPS 10cm	50
Figura. 32. Emissões de dióxido de carbono entre os últimos anos e o valor simulado após melhorias.	51

Lista de Tabelas

Tabela 1. Enquadramento de cada tipo de edifício no SCE [7].	8
Tabela 2. Tipos de consumo de energia a considerar no IEES e IEET [7].	10
Tabela 3. Tabela de resistências térmicas superficiais de	19
Tabela 4. Requisitos energéticos, $U_{máx}$ [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] [10]	21
Tabela 5. Espessura mínima de isolamento a instalar para cumprir os requisitos da legislação [10]	22
Tabela 6. Vida útil e eficiência luminosa de lâmpadas. [17]	27
Tabela 7. Fatores de conversão de energia final para energia primária [8].	30
Tabela 8. Consumo geral das diferentes formas de energia (ESSA)	30
Tabela 9. Consumo energético mensal (ESSA)	31
Tabela 10. Fatores de conversão das emissões	33
Tabela 11. Emissões de dióxido de carbono em 2018 e 2019.	33
Tabela 12. Indicador de Eficiência energética de 2018 e 2019	34
Tabela 13. Potência instalada de iluminação e tipo de lâmpadas (ESSA)	34
Tabela 14. Dados da placa de identificação das caldeiras do edifício	34
Tabela 15. Consumos globais do edifício reais e simulados	41
Tabela 16. Coeficientes de transmissão térmico após instalação de isolamento	46
Tabela 17. Economia anual obtida para as três medidas de melhoria analisadas	47
Tabela 18. Tempo de retorno de investimento para instalação de	47
Tabela 19. Economia anual obtida para a medida de melhoria analisada	48
Tabela 20. Tempo de retorno de investimento para	49
Tabela 21. Tempo de retorno de investimento para instalação de isolamento nas paredes e na cobertura.	49
Tabela 22. Emissão de dióxido de carbono após a instalação das medidas de melhoria.	51

Lista de Abreviações

ADENE – Agência para a Energia

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

COP – Coeficiente de performance

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

EPS – Poliestireno Expandido

LED – Díodo Emissor de Luz

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios (antes de 2006)

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior nos Edifícios (a partir de 2006)

U – Coeficiente de Transmissão Térmica

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno Extrudido

1 Introdução

Desde os primórdios da humanidade, o homem busca abrigo como forma de proteção contra o clima e ataques de animais. A evolução desses abrigos foi necessária, sendo as primeiras casas construídas em madeira, terra, pedra ou palha. Com o passar do tempo e com o avanço tecnológico progrediu-se para outros tipos de construções, e este progresso trouxe consigo impactos negativos para o meio ambiente, tanto pelas construções em si, quanto pelos recursos naturais utilizados e produção de resíduos. Foi então que surgiu a ideia de reinventar as técnicas construtivas com o objetivo de maximizar a utilização de recursos, apoiar sua reutilização, e utilizar recursos renováveis protegendo assim o meio ambiente.

Com aumento da população, a constante urbanização e o crescimento e globalização da economia, o uso de energia continua a crescer. A sociedade atual, para manter seu nível de vida e conforto, necessita de um alto consumo. Portanto, surge o desafio de buscar o desenvolvimento sustentável, mantendo o nível de atividade, transformação e progresso, mas ajustando as necessidades aos recursos existentes, evitando desperdícios de energia.

Diante dos fatos, torna-se fundamental falar em eficiência energética. Esse conceito, que é cada vez mais importante, refere-se à introdução de soluções com objetivo de reduzir perdas de energia e diminuir a dependência dos combustíveis não renováveis, incentivando a utilização da energia renovável, e prevendo poupanças em termos econômicos e ambientais.

1.1 Enquadramento

A Europa possui cerca de 25 bilhões de m² de área útil de pavimento edificada, sendo destes aproximadamente 25% para uso não residencial. O setor de edifícios é responsável atualmente por consumir aproximadamente 40% da energia final na Europa. Em Portugal, o setor de transportes é aquele que mais construiu para utilização final de energia, cerca de 32%, enquanto os edifícios representam 30%, seguidos pelo setor doméstico (16,7%) e o setor de serviços (13,3%). Esses dados podem ser observados na Figura 1 [1].

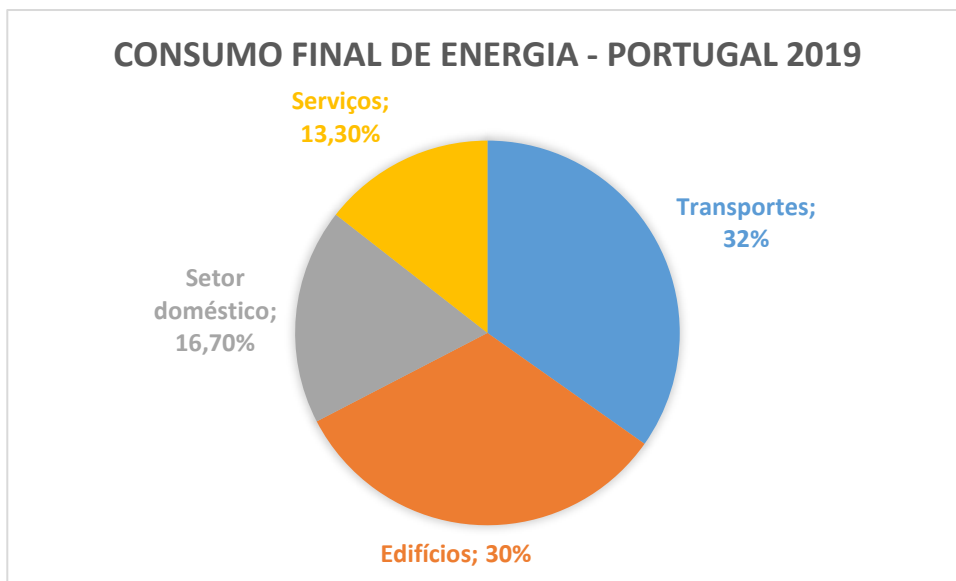


Figura. 1. Consumo final de energia – Portugal 2019 [1].

Devido à alta demanda de energia para esse setor, surgem preocupações concernentes à eficiência do seu uso. Grande parte desse consumo, em torno de 50%, pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética. Diante dessa realidade os estados membros da União Europeia tem promovido uma série de medidas com objetivo de impulsionar a melhoria do desempenho energético dos edifícios, o que envolve, por exemplo, a criação e reformulação de Diretivas relativas ao desempenho energético dos edifícios [1].

No seguimento de impulsionar e estimular a eficiência energética dos edifícios, foi aprovado o Decreto-Lei n.º 118/2013, em Portugal, que visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), transpondo antigas diretivas. Esses novos regulamentos determinam medidas de melhorias das condições de conforto térmico e qualidade do ar interior nos edifícios com gastos reduzidos de energia.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta dissertação consiste no estudo do desempenho energético da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Bragança através da modelização do edifício em um *software* específico para estudos energéticos, o *DesignBuilder*. Pretende-se realizar a construção de um modelo que seja uma boa

aproximação da realidade, podendo ser utilizado para auxiliar em uma possível auditoria energética e estudo de melhorias em seu desempenho energético.

1.3 Método

Utilizando o *software DesignBuilder* será construído um modelo para análise energética do edifício.

Foi necessário realizar um levantamento detalhado de informações, dentre elas:

- Localização e orientação geográfica;
- Levantamento dos espaços e área útil;
- Plantas do edifício;
- Caracterização da envolvente do edifício, constituída por paredes, cobertura, pavimentos, portas, janelas e proteções solares;
- Caracterização da ocupação dos espaços;
- Identificação dos sistemas de iluminação;
- Identificação dos equipamentos elétricos e térmicos;
- Caracterização dos sistemas de climatização;
- Análise das faturas de gás natural e eletricidade anuais.

Os dados não obtidos diretamente foram estimados. O modelo foi validado utilizando os valores reais de consumo de energia elétrica e gás natural obtidos através das faturas de energia do edifício. Após a construção do modelo, e calibração do mesmo, este foi utilizado para avaliar o impacto de medidas de melhoria propostas com o objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício em estudo.

1.4 Estrutura do relatório

A dissertação é dividida em sete capítulos que compreendem os conceitos teóricos relacionados à eficiência energética de edifícios, bem como a legislação aplicável neste âmbito, sendo posteriormente apresentada a caracterização e modelização do edifício em estudo e a análise dos resultados e das medidas de melhoria de desempenho energético.

A estrutura do documento é a seguinte:

- Capítulo 1: Faz a introdução do assunto, enquadramento, definição dos objetivos e métodos de trabalho;

- Capítulo 2: Apresenta a legislação aplicável no âmbito de eficiência energética e conforto térmico de edifícios, válida para a união europeia e atualizada para o ano de 2019;
- Capítulo 3: Apresenta como determinar o desempenho energético de edifícios. Trata do conceito de Índice de Eficiência Energética e métodos de cálculo. Também explica como é realizada uma simulação dinâmica, conceito básico desta dissertação;
- Capítulo 4: Apresenta soluções de eficiência energética atuais para edifícios.
- Capítulo 5: Retrata o caso de estudo, descrevendo o edifício, bem como a caracterização de toda a informação recolhida, de forma a calibrar o modelo computacional;
- Capítulo 6: Neste capítulo são propostas medidas de melhoria de desempenho energético do edifício e análises;
- Capítulo 7: São apresentadas as conclusões do trabalho e propostas de trabalhos futuros.

2 Enquadramento legal e regulamentos

Nas seções seguintes deste capítulo, será apresentada a legislação aplicável no âmbito de eficiência energética e conforto térmico de edifícios, válida para a união europeia e atualizada para o ano de 2019.

2.1 Diretiva n.º 2010/31/EU

A Diretiva n.º 2010/31/EU, válida para toda União Europeia, surgiu da necessidade de atualizar a Diretiva 2002/91/CE concernente ao desempenho energético de edifícios e foi elaborada tendo em vista o seguinte [4][5]:

- A maior eficiência energética constitui parte importante do pacote de políticas e de medidas necessárias ao cumprimento do Protocolo de Quioto;
- A gestão da energia é um importante instrumento para a comunidade ter influência no mercado global de energia e, por conseguinte, na segurança do abastecimento energético a médio e longo prazos;
- O setor residencial e terciário, em maior parte constituído por edifícios, absorve mais de 40% do consumo final de energia na união europeia;
- As medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios devem levar em conta as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade económica.
- O desempenho energético dos edifícios deve ser calculado com base em uma metodologia que integre, além do isolamento térmico, as instalações de aquecimento, ventilação, arrefecimento e ar condicionado (AVAC), a aplicação de fontes de energia renováveis e a concepção dos próprios edifícios, assim como as cargas térmicas e elétricas.
- Dado o impacto que, a longo prazo, os edifícios vão ter em termos de consumo de energia, os novos edifícios deverão cumprir requisitos mínimos de desempenho energético, adaptados às condições climáticas locais.
- As grandes obras de renovação de edifícios existentes, onde o valor investido for superior a 25% do valor do edifício, devem ser consideradas como uma oportunidade para tomar medidas economicamente rentáveis de melhoria do desempenho energético.

Diante das considerações acima, dentre outras, adotou-se a Diretiva n.º 2010/31/EU, com objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios levando em consideração as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências de climatização interior.

A diretiva prevê o enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios e para edifícios existentes sujeitos a grandes obras de renovação, a certificação energética de edifícios e a inspeção regular nos equipamentos de climatização [7].

Nos edifícios existentes, a certificação energética proporciona a obtenção de informações sobre medidas de melhoria de desempenho energético, com viabilidade econômica, as quais o proprietário pode implementar para reduzir o consumo de energia e melhorar o conforto térmico da construção. Em novos edifícios e nos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções construtivas, a certificação permite avaliar a melhor aplicação da regulamentação térmica em vigor.

2.2 Decreto-Lei n.º 118/2013

O Decreto-Lei n.º 118/2013 visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), transpondo a Diretiva n.º 2010/31/EU relativa ao desempenho energético dos edifícios [6].

Um dos intuitos deste decreto é simplificar e otimizar o processo da certificação energética. Houve a separação clara do âmbito de aplicação para edifícios de habitação e edifícios de comércio e serviço com o REH e o RECS, respectivamente, que antes eram contemplados juntos no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

2.2.1 Sistema de Certificação Energética (SCE)

O SCE tem como objetivo certificar o desempenho energético e qualidade do ar interior nos edifícios. A certificação é realizada por técnicos qualificados do SCE. A eles compete fazer a avaliação energética dos edifícios, identificar e avaliar as oportunidades e recomendações de melhoria de desempenho energético, emitir os certificados e submeter ao SCE o plano de racionalização energética[6]. No caso de licenciamento ou de autorização de construção de um novo edifício, o técnico deve emitir um pré-certificado (PCE), que corresponde a um certificado de projeto, onde atesta que o projeto cumpre os requisitos mínimos impostos pelos regulamentos[7].

São abrangidos pelo SCE os edifícios ou frações autônomas do edifício, novos ou sujeitos a grande intervenção, nos termos do REH e RECS. O SCE abrange também os edifícios de comércio e serviço com as seguintes características[6]:

- Com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas; ou
- Que sejam propriedade de uma entidade pública e tenham área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público superior a 250 m².

São excluídos do SCE instalações industriais, agrícolas ou pecuárias, edifícios utilizados para atividades religiosas, armazéns, estacionamento, oficinas, infraestruturas militares e ligados aos sistemas de informações e de segurança que se encontram sujeitos a regras de controle de confidencialidade, entre outros[6].

Existem dois tipos de certificado que dependerá do tipo do edifício, sendo um de habitação e outro de comércio e serviços. A Tabela 1 apresenta em detalhes o enquadramento de cada tipo de edifício e qual certificação deve receber.

Tabela 1. Enquadramento de cada tipo de edifício no SCE [7].

Modelo de PCE/CE	Categoria de edifício ou fração	Descrição
Edifício de Habitação	Habitação (Hab)	Edifícios ou frações de edifícios de habitação no âmbito do REH, independentemente de dispor de sistemas de climatização
Edifício de comércio e Serviços	Pequeno edifício de comércio e serviços sem climatização (PESsC)	Pequeno edifício de comércio de serviços sem climatização no âmbito do RECS, correspondente a pequeno edifício ou fração destinado a comércio e serviços que não disponha de sistema de climatização, ou cujo sistema de climatização tenha uma potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento ou arrefecimento ambiente, igual ou inferior a 25kW
	Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização (PEScC)	Pequeno edifício de comércio e serviços com climatização no âmbito do RECS, correspondente a pequeno edifício ou fração destinado a comércio e serviços que disponha de sistema de climatização com uma potência térmica correspondente à maior das potências de aquecimento ou arrefecimento ambiente, superior a 25kW
	Grande edifício de comércio e serviços (GES)	Grande edifício de comércio e serviços no âmbito do RECS, correspondente a grande edifício destinado a comércio e serviços, independentemente de dispor ou não de sistema de climatização, de área superior a 1000 m ² (*)

2.2.2 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)

O REH estabelece os requisitos, parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético de todos os edifícios de habitação com objetivo de promover a melhoria do comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. É aplicável aos novos projetos de edifícios de habitação e aos edifícios existentes destinados a habitação que sofreram grande intervenção na envolvente ou nos seus sistemas técnicos.

As construções abrangidas pelo REH são avaliadas tendo em vista a melhoria do seu comportamento térmico, a prevenção de patologias, o conforto ambiente e a redução do consumo energético. O Decreto-Lei n.º 118-2013 estabelece entre outros aspectos os requisitos de qualidade térmica em termos do coeficiente de transmissão térmica, os requisitos mínimos de ventilação dos espaços, impondo valores mínimos para taxas de renovação do ar, bem como valores nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício.

2.2.3 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118-2013, o RECS estabelece as regras a observar em um projeto de construção, alteração, operação e manutenção de edifícios

de comércio e serviços e seus sistemas técnicos. Também é objetivo do RECS estabelecer os requisitos para caracterização do desempenho do edifício para promoção da melhoria da eficiência energética e da qualidade do ar interior, incidindo, para esse efeito, nas componentes de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de sistemas de gestão de energia, de energias renováveis, de elevador e de escadas rolantes[7].

3 Desempenho Energético de um Edifício de Serviços

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços pode ser quantificado pelo seu Indicador de Eficiência Energética (IEE).

3.1 Indicador de Eficiência Energética

O Indicador de Eficiência Energética é determinado, segundo a Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro, com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento, tendo como base a Equação (3.1) [8].

$$IEE = IEE_S + IEE_T + IEE_{ren} \quad [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano] \quad (3.1)$$

Onde:

- a) IEE_S , representa os consumos de energia que serão considerados para efeito de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela Equação (3.2) e considerando os consumos anuais de energia por fonte de energia $E_{S,i}$, para as funções indicadas na Tabela 2.

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{c,i}) \quad [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano] \quad (3.2)$$

Em que:

- $E_{S,i}$ é o consumo de energia por fonte i de energia para os usos do tipo S em kWh/ano ;
- A_p é a área interior útil de pavimento em m^2
- $F_{c,i}$ é o fator de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária.

Tabela 2. Tipos de consumo de energia a considerar no IEE_S e IEE_T [7]

Consumos do tipo S	Consumos do tipo T
<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimentos e arrefecimento • Ventilação e bombagem em sistemas de climatização • Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas • Iluminação interior 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilação e bombagem não associada ao controle de carga térmica • Iluminação de utilização pontual • Iluminação exterior • Todo o restante dos equipamentos não incluídos no tipo S

b) IEE_T representa os consumos de energia que não serão considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela Equação (3-3) considerando os consumos anuais de energia por fonte de energia $E_{T,i}$, para as funções indicadas na Tabela 2.

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{c,i}) \quad [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano] \quad (3-3)$$

Em que:

- $E_{T,i}$ é o consumo de energia por fonte i de energia para os usos do tipo T em kWh/ano ;
- A_p é a área interior útil de pavimento em m^2
- $F_{c,i}$ é o fator de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária.

c) IEE_{ren} representa o consumo energético a partir de fontes renováveis $E_{ren,i}$, sendo contabilizada apenas a energia elétrica destinada a autoconsumo. O cálculo é realizado através da Equação (3.4).

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{c,i}) \quad [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano] \quad (3.4)$$

Em que:

- $E_{ren,i}$ produção de energia por fonte de energia renovável i em kWh/ano ;
- A_p é a área interior útil de pavimento em m^2
- $F_{c,i}$ é o fator de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária.

3.2 Tipos de Indicador de Eficiência Energética

Existem três tipos de IEE utilizados para verificações regulamentares, no sistema de certificação energética, conforme descrito a seguir:

- a) IEE previsto (IEE_{pr}): tem como objetivo representar o consumo anual de energia do edifício com base na localização e em dados coletados, como por exemplo as características da envolvente, características dos sistemas de climatização e perfis de utilização previstos para o edifício;
- b) IEE efetivo (IEE_{ef}): traduz o consumo anual de energia do edifício com base no histórico de faturas e energia;
- c) IEE de referência (IEE_{ref}), representa o consumo anual de energia do edifício caso este fosse dotado de soluções de referência para elementos da envolvente e dos seus sistemas técnicos.

3.3 Métodos de determinação dos indicadores de Eficiência Energética

Previsto (IEE_{PR}) e Efetivo (IEE_{EF})

É possível determinar os indicadores IEE_{PR} e IEE_{ef} das seguintes formas:

- a) Método de previsão do IEE_{PR} por simulação dinâmica;
- b) Método de previsão do IEE_{PR} por cálculo dinâmico simplificado;
- c) Método de determinação do IEE_{ef} por consumo efetivo.

3.3.1 Método de previsão do IEE_{PR} por Simulação Dinâmica

A determinação do IEE por esse método de simulação dinâmica deve ser realizada por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140, o qual deve cumprir requisitos mínimos, sendo capaz de modelar[8]:

- Mais que uma zona térmica;
- Ter incremento de tempo horário e por um período de um ano civil;
- Variação horária das cargas internas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos;
- Pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização, permitindo a parametrização independentes de dias da semana e fins de semana;
- Recuperação de calor do ar de rejeição
- O efeito da massa térmica do edifício.

No presente trabalho será aplicado o método de simulação dinâmica do edifício em estudo, sendo esse assunto abordado em mais detalhes na seção 3.4 deste capítulo.

3.3.2 Método de previsão do IEE_{PR} por Cálculo Dinâmico Simplificado

No método de Cálculo Dinâmico Simplificado, determina-se o IEE tendo por base o balanço de energia numa base horária para a estimativa das necessidades de energia em aquecimento e arrefecimento e a estimativa do consumo de energia feita através de cálculo anual simples para os outros tipos de utilização de energia. Para tal são feitas algumas simplificações metodológicas e pressupostos tais como[8]:

- O cálculo das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento para uma zona térmica;
- A introdução de perfis de utilização em hora solar;
- A utilização de dispositivos de sombreamento sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m² médios;
- Fator solar, fatores de obstrução, fração envidraçada, coeficiente de redução de perdas de espaços complementares e edifícios adjacentes, coeficiente de absorção à radiação solar da envolvente opaca e pontes térmicas planas, quando consideradas, coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior, interior e em contato com o solo, calculados de acordo com o estabelecido no REH e RECS.

3.3.3 Método de determinação do IEE_{EF} por Consumo Efetivo

No método do Consumo Efetivo, o IEE é calculado a partir do consumo médio anual de energia final (E_f), por fonte de energia (i), expresso em kWh, e tendo em conta o respectivo fator de conversão para energia primária (F_{pi}), e a área interior útil de pavimento do edifício. O cálculo é realizado por meio da Equação (3.5).

$$IEE_{ef} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{f,i} \cdot F_{pi}) \quad [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano] \quad (3.5)$$

Para o cálculo do consumo médio anual de energia final por fonte de energia e de consumo anual desagregado por tipos de utilização, considera-se as seguintes informações:

- Faturas de energia e/ou registros de contagem de energia de 36 meses de utilização ou de 12 meses, no mínimo, e que representem o funcionamento normal do edifício;

- Resultados de uma avaliação energética, bem como os dados provenientes de um sistema de gestão de energia.

3.4 Simulação Dinâmica

Este trabalho consistirá especificamente na vertente da energia, correspondente à simulação dinâmica do edifício. Entende-se por simulação dinâmica a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos que tome em conta a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base de tempo pelo menos horária, para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência[6].

É necessário o levantamento prévio de informações de elementos tais como envolvente do edifício, sistemas de climatização, iluminação, horários de funcionamento, ocupação, equipamentos elétricos, que serão descritos detalhadamente em um capítulo à frente.

A análise energética deve ser feita por um programa acreditado pela norma ASHRAE 140. Neste trabalho será utilizado o *software DesignBuilder*.

3.4.1 *EnergyPlus* e *DesignBuilder*

O *EnergyPlus* é um programa de simulação para análises energéticas e térmicas. Baseado em uma descrição do usuário da envolvente do edifício, dados climáticos, funcionalidades interiores do edifício, e etc., o *EnergyPlus* realiza simulações horárias e sub-horárias de modo a estimar as cargas de aquecimento e arrefecimento necessárias para manter os pontos de ajuste de controle térmico, os consumos energéticos dos sistemas de climatização e iluminação, bem como muitos outros detalhes de simulação que são necessários para que se verifique que o modelo tem um comportamento e desempenho similar à construção real.

Entretanto, é importante notar que o *EnergyPlus* não possui uma interface gráfica de usuário. Ele é destinado a ser o mecanismo de simulação em torno do qual uma interface de terceiros pode ser envolvida. As entradas e saídas são textos ASCII que são melhores visualizadas quando decifradas por uma interface gráfica. Essa abordagem permite que os designers de interfaces produzam ferramentas de qualidade voltadas especificamente para mercados e interesses individuais.

O fato do *EnergyPlus* apresentar uma interface complexa, resulta na adoção do *DesignBuilder* como interface de maior facilidade de utilização.

O *DesignBuilder* é um *software* desenvolvido em torno do programa *EnergyPlus*, que permite definir modelos de construção de uma forma simplificada, utilizando assim o *EnergyPlus* como motor de simulação. Através desse *software* é possível construir um modelo do edifício, caracterizá-lo e aos seus sistemas energéticos, e realizar simulações para determinação dos consumos, potências de climatização, iluminação, bem como criar estratégias de otimização energética.

Um modelo no *DesignBuilder* é organizado segundo a hierarquia apresentada na Figura 2.

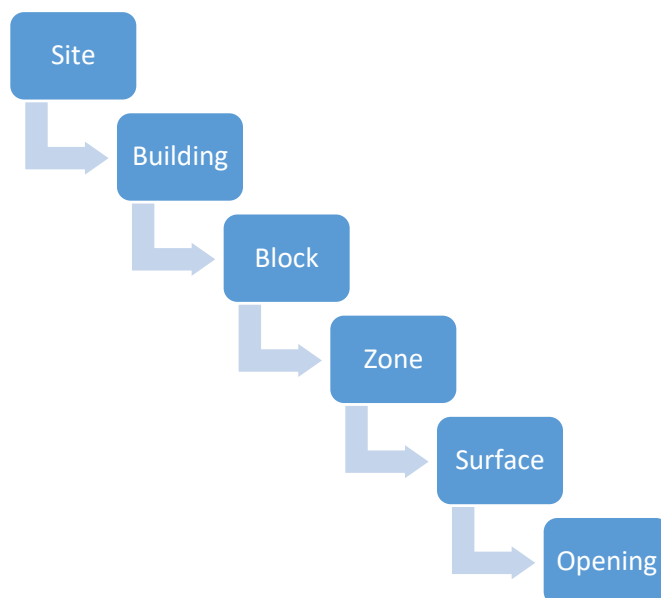


Figura. 2. Hierarquia básica de um modelo no *DesignBuilder* [1]

Os níveis hierárquicos são definidos da seguinte forma:

- *Site*: Localização do edifício
- *Building*: Consiste na construção representada pelo modelo;
- *Block*: Os blocos são os componentes básicos do *DesignBuilder* e são delimitados pelas paredes externas da construção;
- *Zone*: São criadas a partir da divisão de blocos, cada zona deve caracterizar um ambiente com diferentes características de climatização;
- *Surface*: São as superfícies que compõem as zonas;

- *Openings*: São as aberturas que podem ser criadas no nível da superfície.

Os dados são herdados do nível acima da hierarquia, assim dados dos blocos são herdados do nível edifício, dados das zonas são herdados do nível dos blocos e assim por diante. Essa organização permite que configurações feitas no nível do edifício estejam ativas por toda a construção, e similarmente configurar um bloco fará com que todas as zonas e superfícies herdem os dados.

O ponto de partida ao construir um modelo é a seleção da localização física do edifício, que influenciará toda a simulação, visto que o programa associa a cada localização um conjunto de informações climáticas e de relevo da sua base de dados, permitindo resultados mais condizentes com a realidade, uma vez que o clima influencia as necessidades de aquecimento e arrefecimento, e o relevo e trajetória solar influenciam na iluminação e ganhos térmicos do edifício.

A inserção de dados do edifício em geral, ou de uma zona, é feita através de cinco separadores:

- *Activity*: No separador Activity o usuário deverá inserir os dados relativos a ocupação do edifício e controle da temperatura. A ocupação define o número de pessoas que ocupam determinado espaço da construção em determinados períodos de tempo. O programa então considera a necessidade de calor e arrefecimentos dos ocupantes, bem como contabiliza o calor proveniente do metabolismo deles. Naturalmente o número de ocupantes no edifício não é constante ao longo do dia. Para determinar a ocupação exata a cada hora usa-se uma configuração específica de horários que permite atribuir valores de ocupação para diferentes horas do dia, podendo esse ser zero, por exemplo, para os fins de semana, feriados ou férias;
- *Construction*: Neste separador são inseridos os dados relativos ao tipo de construção e material de todos os componentes construtivos;
- *Openings*: Aqui são definidas as características das aberturas, vãos envidraçados, e proteções solares nas portas e janelas.
- *Lighting*: Neste separador define-se os tipos de luminárias, lâmpadas, horário de utilização e as frações de calor que são radiadas através das luminárias.
- *HVAC*: Define-se as características do sistema de climatização.

Após a construção do modelo é possível realizar vários tipos de cálculos que auxiliarão na tomada de decisão no projeto, dentre eles [3]:

- *Heating Design*: São realizados os cálculos do projeto para dimensionar o equipamento de aquecimento necessário para atender as condições climáticas mais frias que serão encontradas no local.
- *Cooling Design*: São realizados os cálculos do projeto para determinar a capacidade do sistema mecânico de arrefecimento para atender as condições climáticas mais quentes que serão encontradas no local. Em zonas que não são arrefecidas mecanicamente, as temperaturas são calculadas incluindo os efeitos de ventilação natural ou forçada, se essa opção for selecionada no separador HVAC.
- *Simulation*: Gera dados detalhados da performance energética do edifício baseados em simulações usando dados reais do clima no local.
- *Daylighting*: Fornece um cálculo detalhado dos níveis de iluminação no plano de trabalho de um edifício.
- *Cost and Carbon*: Permite revisar os custos de construção do projeto e o nível de carbono incorporado na estrutura da construção.

3.5 Coeficiente de Transmissão Térmica (U)

O coeficiente de transmissão térmica (U) mede a taxa de transferência de calor através da matéria. O valor U é expresso por $W/(m^2.K)$ no sistema internacional de unidades e é dado por $\frac{1}{R_T}$ onde R_T é a resistência térmica total do componente construtivo. O cálculo do coeficiente global de transmissão térmica U através de uma parede é realizado conforme a Equação 3.9. As variáveis utilizadas estão descritas na Figura 3. (ANEXO C)

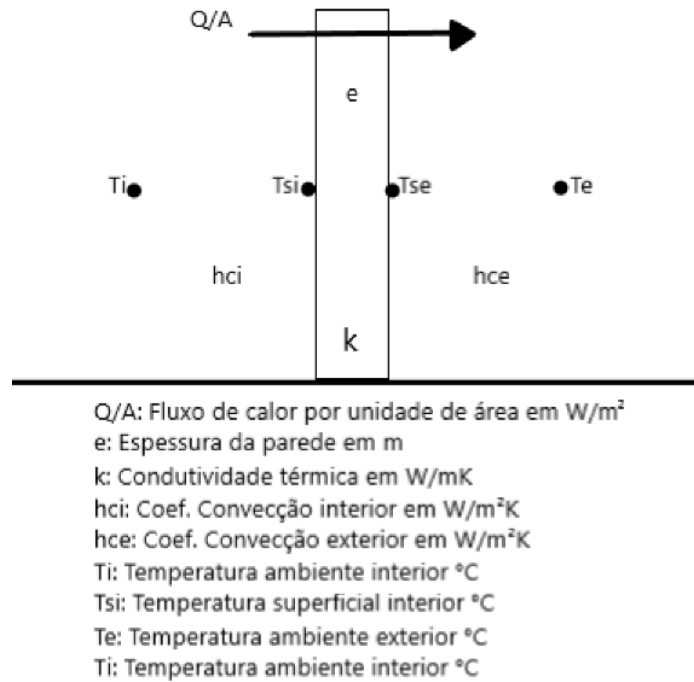


Figura. 3. Variáveis para cálculo da transmitância térmica. (ANEXO C)

O fluxo de calor que flui do ambiente interno para parede é dado por:

$$\frac{Q}{A} = (T_i - T_{si})h_{ci} \quad (3.6)$$

E o fluxo através de uma parede é o seguinte:

$$\frac{Q}{A} = U(T_i - T_e) \quad (3.7)$$

Logo, igualando os termos, obtemos que:

$$U(T_i - T_e) = (T_i - T_{si})h_{ci} \quad (3.8)$$

E,

$$U = \frac{(T_i - T_{si})h_{ci}}{(T_i - T_e)} \quad [W/m^2K] \quad (3.9)$$

Para realizar a medição da Transmitância Térmica do edifício em estudo foi utilizado o Instrumento Multifunções Testo 435-2 juntamente com uma sonda de transmitância térmica e um módulo de rádio e sonda wireless. O equipamento utilizado é apresentado na Figura 4.



Figura. 4. Instrumento Testo 435-2

O instrumento realiza simultaneamente as medições de temperatura interior (T_{int}), temperatura superficial da parede (T_{si}) e temperatura exterior (T_{ext}). Com essas medições é possível calcular o valor de U utilizando a resistência térmica da superfície (R_{si}) como demonstrado na Equação 3.10.

$$U = \alpha \cdot \frac{T_{int} - T_{si}}{T_{int} - T_{ext}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (3.10)$$

Onde $\alpha = \frac{1}{R_{si}}$ e é dado pela Tabela 3.

Tabela 3. Tabela de resistências térmicas superficiais de revestimentos em contato com o ar exterior em $\text{m}^2\text{K/W}$

Posição do revestimento e sentido do fluxo de calor	Alpha
Revestimento vertical ou revestimento sobre parede > 60 graus e fluxo horizontal	7,69
Revestimento vertical ou revestimento sobre parede > 60 graus e fluxo ascendente	10
Revestimento vertical ou revestimento sobre parede > 60 graus e fluxo descendente	5,88

4 Eficiência energética em edifícios

Estão sendo elaborados regulamentos e normas atualizadas de forma constante com respeito ao desempenho de novos e antigos edifícios, o que leva ao aparecimento de um número cada vez maior de tecnologias e medidas para melhoria da eficiência energética das construções.

No desenvolvimento de um novo projeto, ou em grandes intervenções em edifícios existentes, o conforto constitui uma prioridade, tendo em consideração a minimização das necessidades energéticas. Os materiais e métodos construtivos, bem como as características do local onde o edifício está inserido tem grande impacto no consumo e no conforto térmico interior. Este capítulo tem como objetivo apresentar soluções atuais de eficiência energética que abrangem vários aspectos construtivos de edifícios.

4.1 Isolamento de Paredes

O desempenho energético de um edifício depende diretamente das características dos elementos que fazem a fronteira entre o ambiente interno e o ambiente externo, o que comumente é denominada como a sua envolvente (paredes exteriores, janelas e coberturas).

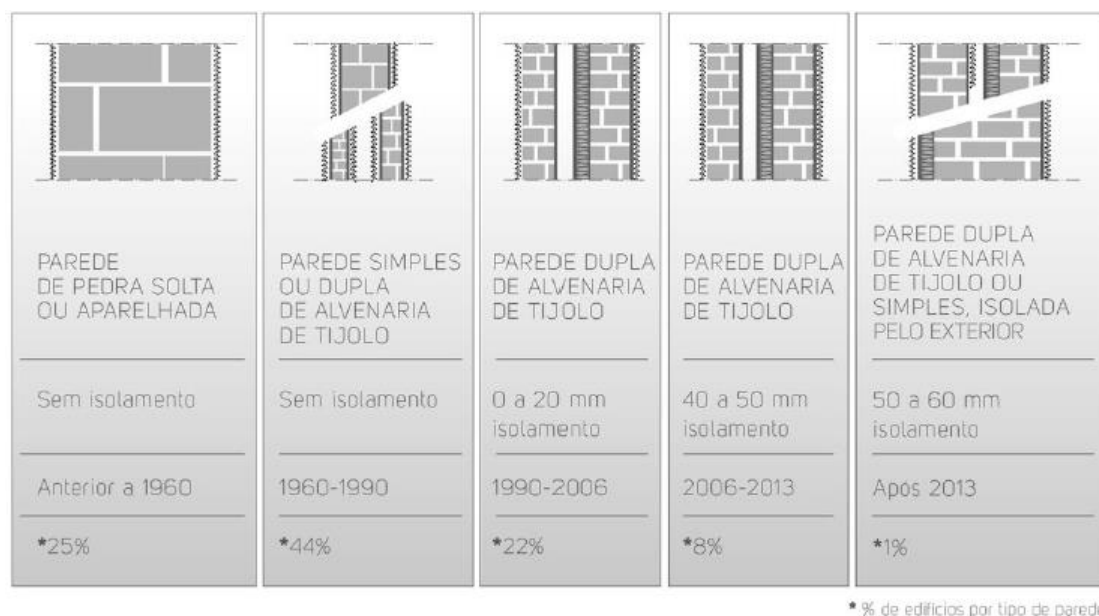


Figura. 5. Tipos de paredes construídas em Portugal [10].

A maioria dos edifícios em Portugal não possui isolamento térmico, principalmente nas construções entre 1960 e 1990 [10]. Na Figura 5 são apresentadas os tipos mais comuns de paredes construídas em Portugal e a percentagem de edifícios por parede.

Paredes pouco eficientes são responsáveis por elevadas perdas (ou ganhos) de calor e podem desenvolver mais facilmente focos de condensação, fungos e bolores. Algumas características ajudam a identificar paredes pouco eficientes, como por exemplo [10]:

- Colorações negras ou amareladas em alguns pontos;
- Parede muito fria no inverno e muito quente no verão;
- Paredes muito finas indicam, normalmente, ausência de isolamento;

Os níveis de isolamento adequado variam de acordo com a região do país. Portugal é dividido em três zonas climáticas podem ser visualizadas na Figura 6. Para cada zona climática é recomendado um valor de coeficiente de transmissão térmica superficial máximo que são apresentados na Tabela 4.

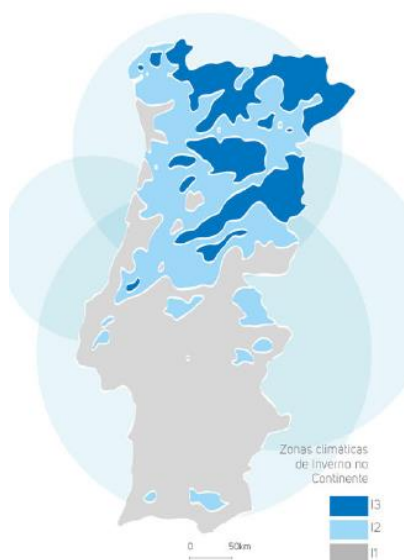


Figura. 6. Zonas climáticas em Portugal [10].

Tabela 4. Requisitos energéticos, $U_{m\acute{a}x}$ [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] [10]

Zona Climática	I1	I2	I3
Valor do U^*	0,5	0,4	0,35

*U é o coeficiente de transmissão térmica superficial de uma solução construtiva e refere-se à capacidade que esta tem em conduzir o calor do interior para o exterior da habitação. Quanto menor for este valor melhor será o desempenho energético da solução.

Para cumprir os requisitos mínimos de isolamento previstos na legislação a parede deve possuir uma espessura mínima que é apresentada na Tabela 5 por tipo de parede e ano da construção.

Tabela 5. Espessura mínima de isolamento a instalar para cumprir os requisitos da legislação [10]

Zona Climática	Parede de Alvenaria de Pedra (<1960) - 22% dos edifícios	Parede de Tijolo Simples (1960-1980) - 36% dos edifícios	Parede de Tijolo Dupla (1980-1995) - 42% dos edifícios	% de edifícios situados por zona climática
I1	5 a 7 cm	4 a 5 cm	3 a 4 cm	58%
I2	7 a 9 cm	6 a 7 cm	5 a 6 cm	34%
I3	8 a 10 cm	7 a 9 cm	6 a 8 cm	8%

Existem diversos benefícios em uma parede apresentar soluções de eficiência, como por exemplo a melhoria do conforto térmico, minimização de anomalias e melhoria da salubridade no interior, redução do consumo energético e um melhor isolamento acústico.

A implementação dessas soluções pode ser através de isolamento pelo exterior e isolamento pelo interior.

- **Isolamento pelo exterior:** Do ponto de vista da eficiência energética o isolamento pelo exterior é a forma mais adequada, pois garante uma aplicação uniforme, corrigindo possíveis pontes térmicas da envolvente, além de evitar humidade e condensações futuras. Nesse tipo de implementação é importante que se obtenha informações sobre a resistência mecânica do isolamento, pois deverá resistir a impactos de objetos, principalmente em pisos térreos. Deve ser avaliado também o impacto na estética da parede exterior, assegurando a manutenção da imagem do edifício[10].
- **Isolamento pelo interior:** Reduz a área útil de pavimento, bem como a capacidade da parede em armazenar o calor, tornando-a mais vulnerável a variações de temperatura. Portanto, deve-se avaliar com cuidado a necessidade de se utilizar essa opção de implementação [10].

Existem vários tipos de materiais e técnicas de isolamento. A escolha do tipo de material depende da zona climática, ou seja, o nível de isolamento que se pretende alcançar. Os isolantes térmicos são geralmente materiais porosos e de baixa densidade, como o XPS (Poliestireno Extrudido), EPS (Poliestireno Expandido), ICB (Aglomerado de cortiça expandida), MW (Lã de Rocha) e a argamassa térmica. A Figura 7 apresenta os tipos de aplicações mais comuns das soluções de isolamento [10].

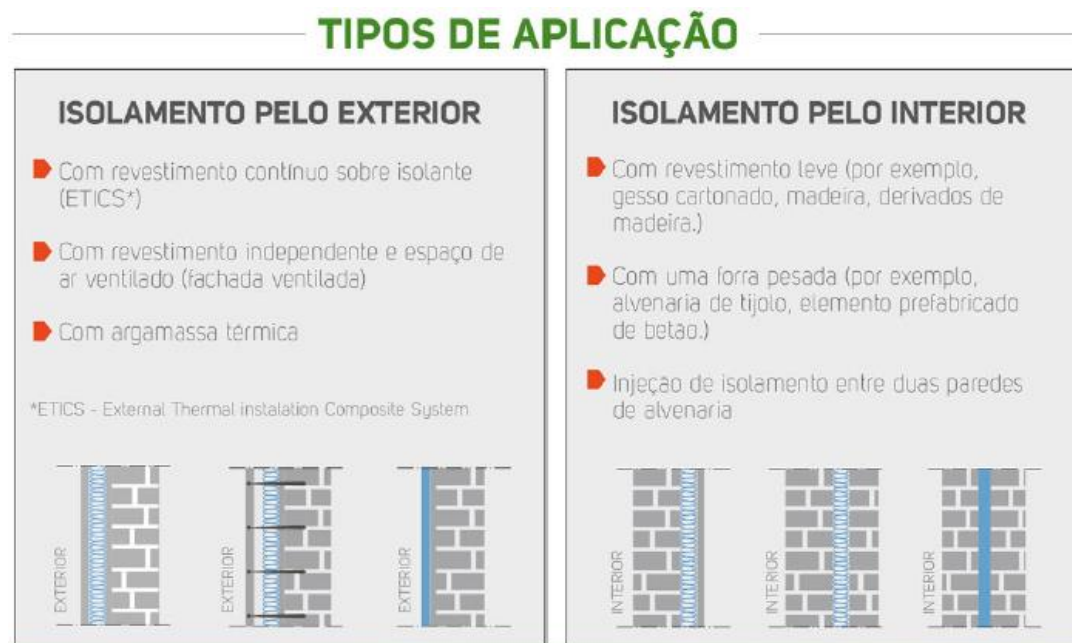


Figura. 7. Tipos de aplicação das soluções de isolamento nas paredes externas [10].

4.2 Isolamento da cobertura

A cobertura é um dos elementos construtivos que mais contribuem para perdas de calor nos edifícios. Em média representam cerca de 30% das perdas de calor em uma construção. Assim, o isolamento térmico de uma cobertura é considerado uma intervenção de eficiência energética prioritária, considerando os benefícios imediatos em relação ao consumo energético, e por ser uma das soluções mais simples de serem implementadas [11].

Os principais benefícios das coberturas eficientes são:

- Melhoria do conforto térmico;
- Minimização de patologias e melhoria da saúde;
- Redução do valor da fatura de energia;
- Maior durabilidade da habitação.

Os tipos mais comuns de isolamento são o XPS (Poliestireno Extrudido), EPS (Poliestireno Expandido), ICB (Aglomerado de cortiça expandida), MW (Lã de Rocha), PUR/PIR (Espuma Rígida de Poliuretano ou de Poli-isocianurato) e a betonilha com isolamento térmico [11]. A estratégia de colocação do isolamento deve levar em conta o tipo de utilização do espaço. A Figura 8 apresenta as principais soluções disponíveis.



Figura. 8. Tipos de aplicação das soluções de isolamento na cobertura [11].

4.3 Janelas Eficientes

Os vãos envidraçados do edifício permitem a entrada de raios solares, levando a um maior conforto visual através de iluminação natural, além de facilitarem o aquecimento ambiente nos meses de inverno. Da mesma forma que contribuem para a entrada de calor proveniente do ambiente externo, podem existir saídas de calor que se dissipam no ambiente externo diminuindo a eficiência energética do edifício.

Janelas eficientes são aquelas que, pelas suas características, contribuem para aumentar o isolamento térmico e acústico das construções.

Na Figura 9 pode-se observar uma estimativa das principais soluções instaladas em Portugal. Cerca de 75% são janelas de baixa classe de eficiência energética, ou seja, existe uma grande margem para melhorar o isolamento térmico das janelas e consequentemente a eficiência dos edifícios [12].

Um fator importante a levar em consideração ao implementar soluções de eficiência em janelas, é sua orientação. Se a janela estiver orientada a Norte com ausência de radiação solar, deve-se dar atenção especial ao coeficiente de transmissão

térmica da janela, para minimizar as perdas de calor para o exterior. Caso a janela seja orientada a Sul com elevada exposição e sem proteção solar, deve-se dar atenção ao fator solar do vidro [12].

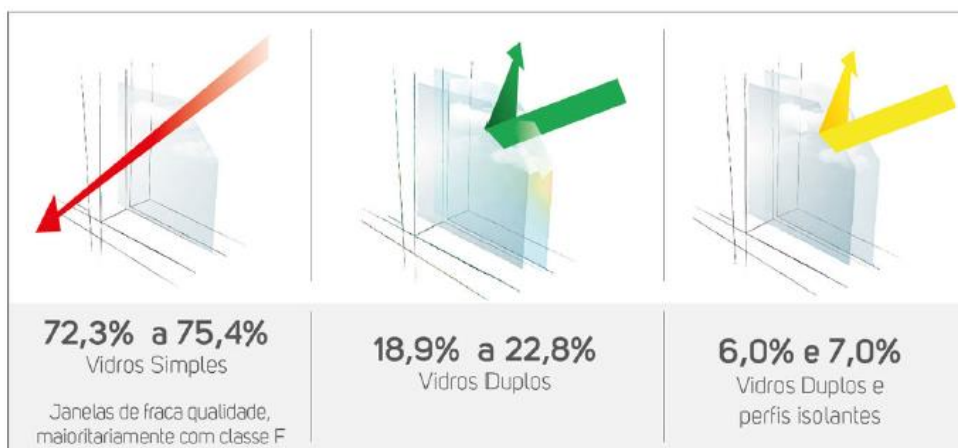


Figura. 9. Soluções de janelas instaladas em Portugal [12]

Em relação aos vidros, as soluções de vidros duplos são as mais utilizadas. O espaço entre elas pode ser preenchido com gás ou ar, e sua espessura pode variar, sendo recomendado uma caixa de ar de pelo menos 16mm. É possível obter um melhor comportamento energético utilizando gás entre os vidros, sendo o Argon umas das opções. Vidros não incolores devem ser temperados para prevenir rupturas por efeito de choque térmico [12].

4.4 Proteções solares

A radiação solar direta pode provocar inconvenientes como luminosidade excessiva e danos a materiais e equipamentos no interior do edifício. Em casos assim, recomenda-se a utilização de proteção solar nas janelas, visto que vidros com fatores solares muito baixos prejudicam a captação de luz natural. A utilização de vidros incolores sem proteção solar em fachadas ensolaradas é desaconselhável, pois provoca sobreaquecimentos nos espaços, reduzindo o conforto térmico e levando a consumos mais altos com equipamentos de arrefecimento.

Deve-se dar prioridade as proteções solares exteriores, uma vez que quando instaladas no interior, grande parte da radiação solar absorvida pelo dispositivo é dissipada no ambiente interior. As proteções exteriores evitam ganhos de calor de até 96%, enquanto que as interiores apenas 62% [13].

4.5 Iluminação

Garantir uma boa iluminação exige analisar as necessidades de cada zona do edifício, pois cada espaço requer uma quantidade específica de luminosidade, intensidade e tempo de utilização. Para iluminação de edifícios pode-se recorrer a utilização de iluminação natural, que aproveita a luz do sol, ou iluminação artificial. [20]

Uma das principais formas de evitar consumo desnecessário de energia elétrica é a captação de iluminação de forma natural, sendo esta, uma solução que tem ganhado destaque nos últimos anos em construções eficientes.

A luz do sol é um recurso natural, gratuito, abundante e confiável. Precisamos de cerca de 100 lux para uma leitura normal e 300 lux para tarefas visuais contínuas, e no exterior há uma quantidade de luz natural muito superior a esses níveis, mesmo em dias nublados. Apesar de ter disponível todo esse potencial de iluminação natural, até 50% da energia elétrica total consumida em um edifício é destinada para o sistema de iluminação artificial [14].

Um fator que contribui para uma iluminação mais eficiente é a cor das paredes internas. Paredes ao fundo de um compartimento, em particular as que estão voltadas para janela, deve ter alta refletância, que deve ser obtida com a utilização de tinta clara, potencializando a projeção da iluminação natural [15]. Um espaço com acabamentos escuros precisará de uma área maior de janela do que uma zona com cores claras e refletivas.

No que tange a iluminação artificial, os principais tipos de lâmpadas utilizados em edifícios são as lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de halogênio e lâmpadas de tecnologia LED, sendo raramente encontradas lâmpadas incandescentes.

As lâmpadas de halogênio criam luz através da corrente que passa no filamento de tungstênio, em que partes do filamento evaporam durante o processo. Elas são preenchidas com gases inertes que capturam os átomos de tungstênio e os transporta novamente para o filamento. Esta lâmpada é mais compacta em relação as incandescentes, resultando em um aumento da luminosidade e na vida útil da lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes contêm em seu interior vapor de mercúrio de gases. Quando é percorrida por corrente elétrica, os elétrons se chocam com os átomos de mercúrio e a energia resultante é transferida para o mercúrio, que emite energia na forma de radiação ultravioleta e é transformada em luz visível pela camada fluorescente.

O funcionamento da lâmpada depende de um reator para estabilizar a corrente e tensão da rede e de um arrancador para fornecer o pico de corrente necessário. Este tipo de lâmpada tem um período de vida de cerca de 6000 horas e permitem economizar até 85% de energia quando comparadas a lâmpadas incandescentes [16].

A lâmpada LED (Light Emitting Diode) é um componente eletrônico que gera luz com baixo consumo. Quando fornecida corrente elétrica, os elétrons do semicondutor se deslocam, produzindo luz. Diferente das lâmpadas comuns, elas não possuem filamento, o que faz com que a sua vida útil seja maior.

Na Tabela 6 são comparadas a vida útil, potência, luminosidade e eficiência luminosa das lâmpadas citadas anteriormente. Constata-se que atualmente as lâmpadas LED contam com uma vida útil muito superior aos outros tipos, além de ser mais eficiente. Outra vantagem das lâmpadas LED é que existem atualmente no mercado soluções que usam essa tecnologia e são de substituição direta para praticamente todo tipo de aplicações e alternativas a outras lâmpadas.

Tabela 6. Vida útil e eficiência luminosa de lâmpadas. [17]

Tipo de lâmpada	Vida útil (h)	Potência (W)	Luminosidade (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)
Incandescente	1000	100	1300	13
Fluorescente	6000	20	1280	64
LED	30000	15	1320	88

5 Caso de estudo

O projeto de modelização e estudo do comportamento energético é referente ao edifício da Escola Superior de Saúde, integrado do Instituto Politécnico de Bragança, situado na Avenida D. Afonso V, 5300-121 em Bragança. É uma instituição pública de formação de nível superior que tem como missão a formação de 1º e 2º ciclo, a formação pós-graduada, a investigação e a prestação de serviços à comunidade, no domínio da saúde. Como instituição de ensino superior ocupa, neste momento, um importante espaço formativo na área das ciências da saúde, constituindo-se como um pilar fundamental para o desenvolvimento da região.

A primeira etapa deste estudo consistiu na construção do modelo de simulação. Foi criado um ficheiro em DXF das plantas do edifício no *software* AutoCAD e este foi posteriormente importado pelo *DesignBuilder* para início da modelização. Foram utilizadas todas as informações concernentes às soluções construtivas, sistemas de climatização, iluminação e clima local para a construção de um modelo que representasse de forma mais fiel possível o edifício em questão. O modelo em 3D no *software DesignBuilder* é apresentado nas Figuras 10 e 11.

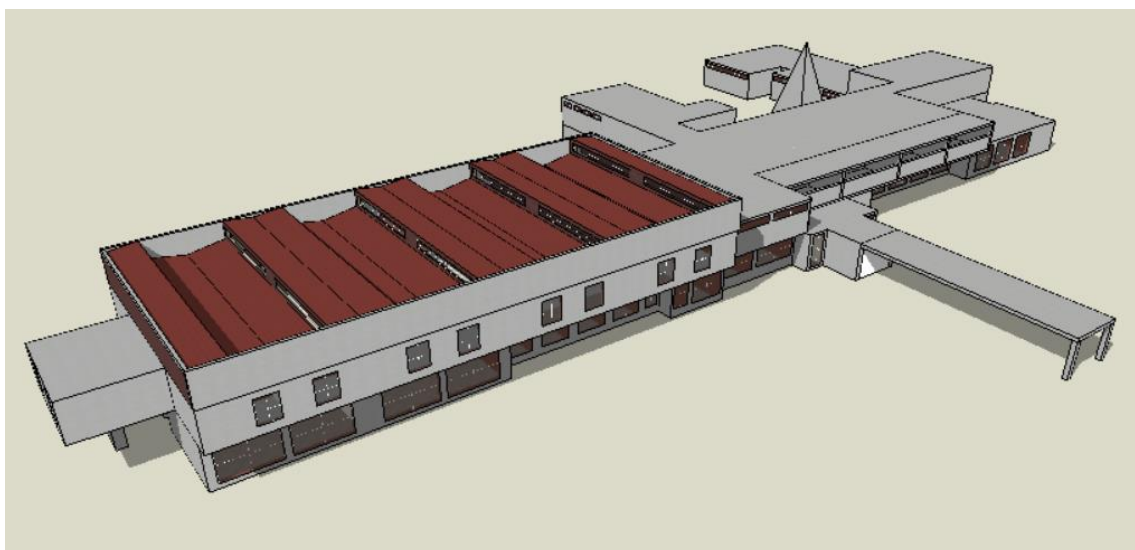


Figura. 10. Representação gráfica do modelo construído no *DesignBuilder* (Frente)



Figura. 11. Representação gráfica do modelo construído no DesignBuilder (Trás)

É importante notar que, neste tipo de modelo, a orientação da construção em relação ao sol é essencial para obtenção de resultados confiáveis, uma vez que as sombras projetadas pelo edifício e construções próximas vão afetar de forma substancial os ganhos solares e, assim, afeta diretamente as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Foi verificado que não existem construções grandes nos arredores que causam sombreamento. Na figura 12 pode-se observar a orientação correta do prédio, bem como o seu diagrama solar.

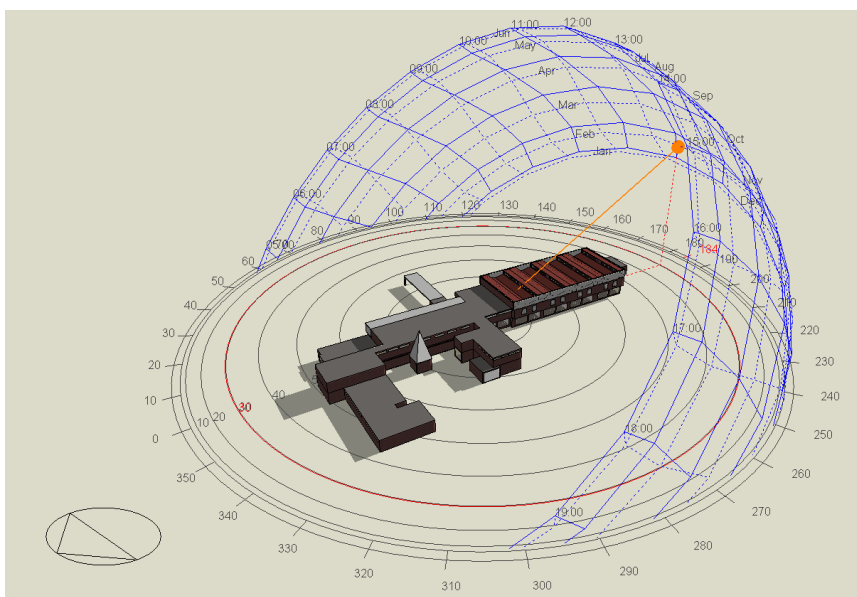


Figura. 12. Visualização 3D do edifício e diagrama solar

5.1 Recolha de informação e caracterização energética

Para o desenvolvimento deste trabalho, bem como a modelização do edifício, foi realizado um levantamento de dados em campo, no qual foram obtidos dados sobre a iluminação, aquecimento, arrefecimento, bem como as faturas de energia elétrica e de gás natural dos anos de 2018 e 2019, que serão os anos referência para estudo. As próximas seções deste capítulo terão como objetivo uma exposição detalhada e estudo dos dados obtidos.

5.1.1 Consumos Energéticos

Os consumos registrados na instalação provém de energia elétrica e gás natural. O gás natural é utilizado nas caldeiras para aquecimento do ambiente e aquecimento de água. Já a energia elétrica é utilizada para o sistema de iluminação, equipamentos elétricos e para arrefecimento do edifício. Na Tabela 8 é apresentada a quantidade consumida de ambas as formas de energia nos anos de 2018 e 2019 e as respectivas conversões para energia primária, calculadas através dos fatores de conversão da Tabela 7 [8].

Tabela 7. Fatores de conversão de energia final para energia primária [8].

Fonte de Energia	Fator de conversão (kWhEP/kWh)
Eletricidade	2,5
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis	1

Tabela 8. Consumo geral das diferentes formas de energia (ESSA)

Tipo de Energia	2018		2019	
	Energia Final (kWh)	Energia Primária (tep)	Energia Final (kWh)	Energia Primária (tep)
Energia Elétrica	138.226	29,71	141.285	30,37
Gás Natural	289.211	24,87	233.909	20,11
TOTAL	427,437	54,58	375,194	50,48

No seguimento das informações da Tabela 8, a Figura 13 apresenta a diferenciação dos consumos em percentagem. No consumo de energia primária o consumo elétrico está entre 50 e 60 por cento em relação ao gás natural. Quanto à energia final, o gás natural representa cerca de dois terços do total nos dois anos em

análise, verificando assim uma alta necessidade de energia para aquecimento das zonas e da água.

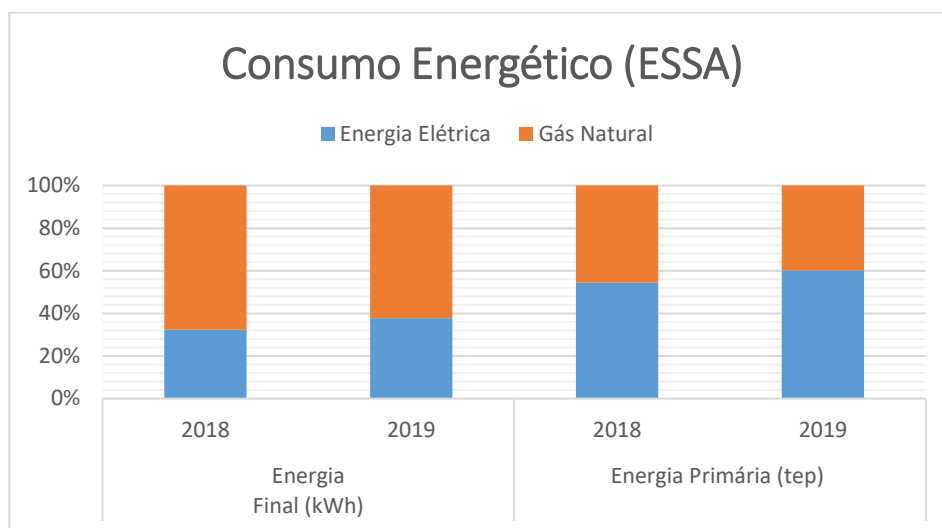


Figura. 13. Consumo energético nos anos de 2018 e 2019 (ESSA)

Na Tabela 9 apresenta-se a diferenciação da energia consumida ao longo dos meses do ano, para os dois anos em análise. Os consumos de gás natural apresentados resultam de estimativas feitas pelos fornecedores e não de medições mensais reais.

Tabela 9. Consumo energético mensal (ESSA)

	2018		2019	
	Energia Elétrica (kWh)	Gás Natural (kWh)	Energia Elétrica (kWh)	Gás Natural (kWh)
Janeiro	14.873	60.325	15.669	57.584
Fevereiro	12.386	52.516	12.994	37.307
Março	13.346	48.331	12.632	18.502
Abril	11.703	24.790	11.502	20.900
Maio	10.734	0	11.253	5.260
Junho	11.192	0	10.523	0
Julho	9.304	0	11.520	0
Agosto	5.836	0	6.290	0
Setembro	9.959	30.043	10.116	0
Outubro	11.386	0	12.937	11.871
Novembro	14.595	0	12.937	40.394
Dezembro	12.912	73.206	12.912	42.091
Total por fonte	138.226	289.211	141.285	233.909
TOTAL	427.437		375.194	

Para melhor visualização, os dados da Tabela 9 são apresentados na Figura 14 de forma gráfica, onde pode-se observar a variação mensal de ambas as formas de energia. Verifica-se um consumo maior de gás natural nos meses mais frios do ano e um consumo nulo nos meses de verão. Em relação a energia elétrica o consumo é menor nos meses de férias escolares. Analisando o gráfico, percebe-se também que o consumo elétrico nos meses mais quentes é menor que nos meses mais frios, o que nos leva ao pressuposto de que o consumo de energia elétrica destinado ao arrefecimento do edifício é baixo, ou seja, a necessidade de arrefecimento é reduzida em comparação com as necessidades de aquecimento, além de haver um melhor aproveitamento da luz natural nestes meses.

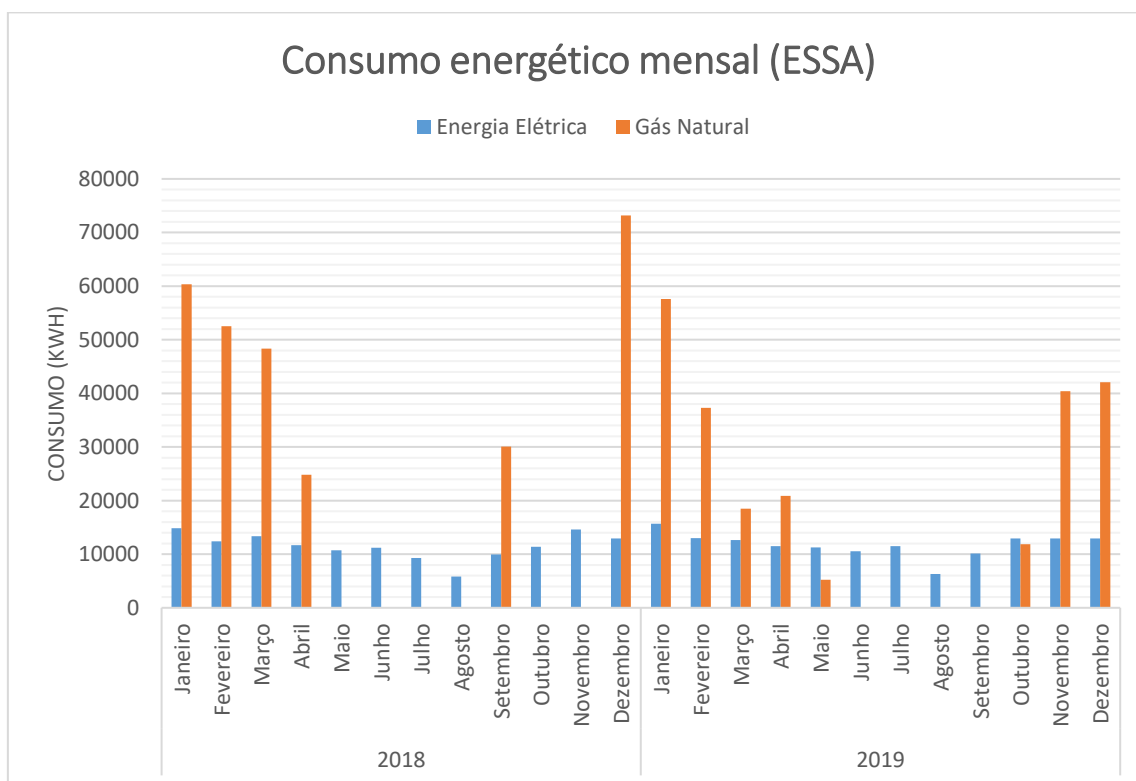


Figura. 14. Consumo energético mensal (ESSA)

5.1.2 Emissões de Dióxido de Carbono associadas

As emissões de gases de efeito estufa, em dióxido de carbono equivalente são um indicador do impacto ambiental de um edifício, uma vez que representa a emissão

teórica de gases expelida para a atmosfera como consequência do seu consumo total de energia.

Tabela 10. Fatores de conversão das emissões de CO₂e [8].

Fonte de Energia	Fator de Conversão (kgCO ₂ e/kWh)
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,170
GPL garrafas	0,170
Renovável	0,000

Uma vez obtida a energia primária consumida conforme a Tabela 8, é possível determinar as emissões de dióxido de carbono equivalente referentes ao consumo de energia anual, através dos fatores de conversão apresentados na Tabela 10 [8].

Pode-se observar as emissões de dióxido de carbono em quilogramas por ano, de 2018 e 2019, na Tabela 11.

Tabela 11. Emissões de dióxido de carbono em 2018 e 2019.

Ano	Energia Elétrica (kWhEP)	Gás Natural (kWhEP)	Total (kWhEP)	Emissão de dióxido de carbono (Kg)
2018	345.565	289.211	634.776	108.182
2019	353.213	233.909	587.122	98.112

5.1.3 Indicador de Eficiência Energética do edifício

A determinação do Indicador de Eficiência Energética (IEE) foi realizada conforme explicado no capítulo 4, obtendo-se um indicador de $270,57 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$ em 2018 e $250,25 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$ em 2019, como demonstrado na Tabela 12. Utilizando os valores de IEE_{EF} calculados, juntamente com os dados obtidos na simulação dinâmica multizona que será feito através do *software DesingBuilder*, é possível determinar a classe energética do edifício.

Tabela 12. Indicador de Eficiência energética de 2018 e 2019

Ano	Área útil (m ²)	Consumo Final		Energia Primária			IEE (kWhEP/m ² .ano)
		Energia Elétrica (kWh)	Gás Natural (kWh)	Energia Elétrica (kWhEP)	Gás Natural (kWhEP)	Total (kWhEP)	
2018	2.346,06	138.226	289.211	345.565	289.211	634.776	270,57
2019		141.285	233.909	353.213	233.909	587.122	250,25

5.1.4 Iluminação

Foi realizado um levantamento do sistema de iluminação do edifício e os dados registrados são apresentados na Tabela 13. Nota-se que a iluminação conta com lâmpadas fluorescentes, LED e incandescentes, sendo fluorescentes majoritariamente, e a potência total instalada em iluminação de 18.293 W.

Tabela 13. Potência instalada de iluminação e tipo de lâmpadas (ESSA)

Iluminação	Fluorescente (W)	LED (W)	Incandescente (W)
Subsolo	1.260	32	240
Piso 0	8.091	64	120
Piso 1	8.382	64	40
Total por tipo	17.733	160	400
TOTAL	18.293		

5.1.5 Sistema de Aquecimento

O sistema de aquecimento do edifício é composto por duas caldeiras a gás natural com as especificações mostradas na Tabela 14. Da tabela observa-se que a capacidade total de aquecimento da escola está na faixa de 180-462 kW.

Tabela 14. Dados da placa de identificação das caldeiras do edifício

Marca/Modelo	Lamborghini – Calor e Clima EM 26/2 E 9800 1061
Potência Térmica	90-231 kW
Pressão Nominal	GAS NATURALE I 2H 20/360 mbar
ALIMENT.	230V/50Hz/490V

Categ.	GAS II 2H3+
MATRIC.	1HC00340
CARATT.	2 FIAMME

5.1.6 Perfil de temperatura externa e radiação solar

O perfil de temperatura externa é um fator importante a se considerar em estudos de eficiência energética de um edifício, pois tem influência direta nas suas necessidades de aquecimento e arrefecimento. O *software DesignBuilder* utiliza o perfil mais recente de temperatura do local onde o edifício se encontra para realização dos cálculos, este perfil é apresentado na Figura 15.

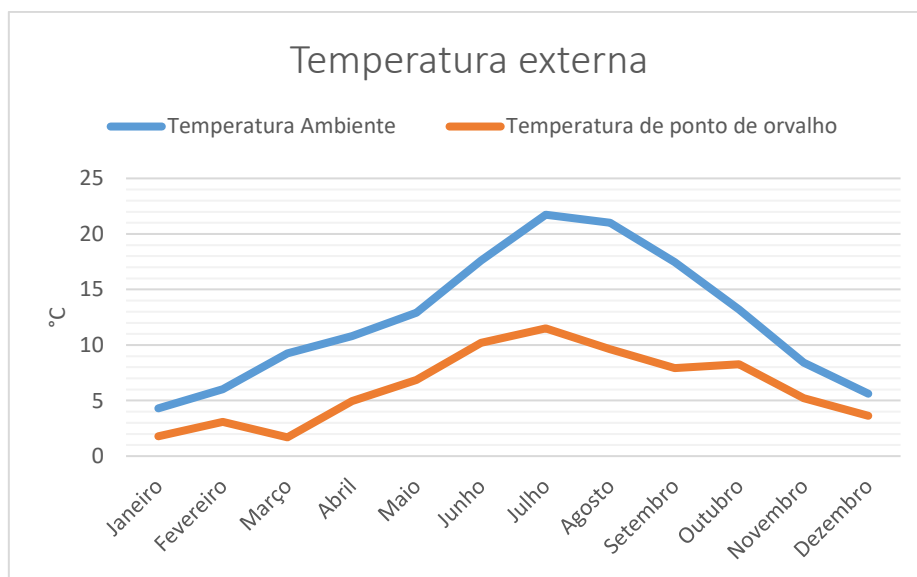


Figura. 15. Perfil de temperatura externa ao edifício.

Outra informação importante, principalmente no caso de se optar por soluções renováveis de eficiência energética, como por exemplo a instalação de painéis fotovoltaicos e painéis solares, é a radiação solar direta e difusa no edifício. O gráfico da Figura 16 apresenta a variação anual da radiação solar no local da construção.

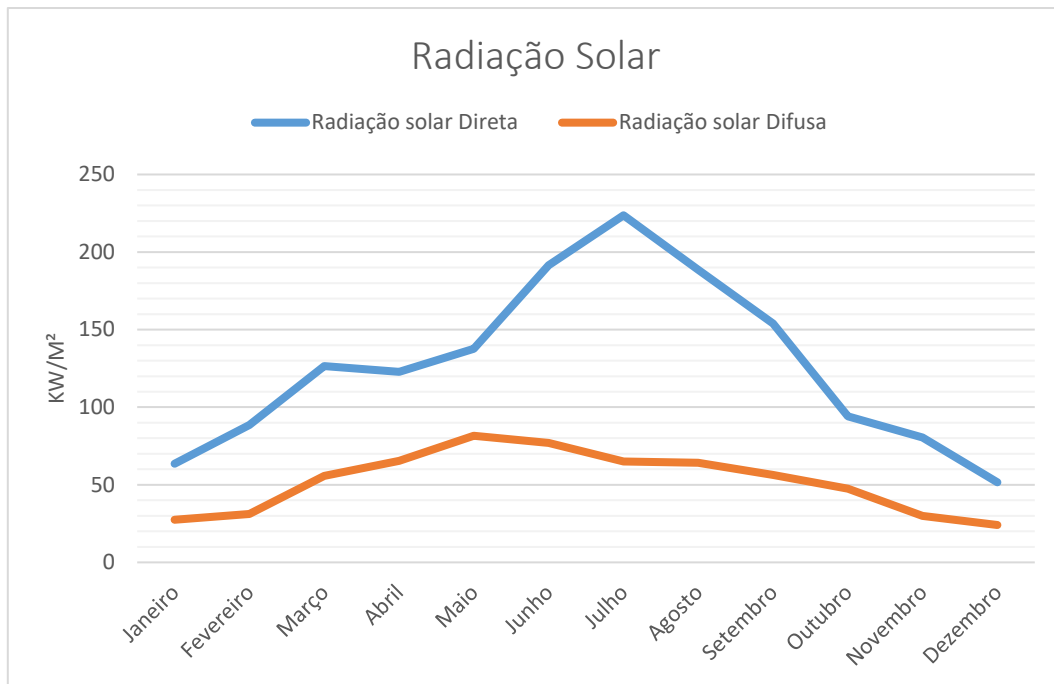


Figura. 16. Variação da radiação solar direta e difusa anuais na região do edifício.

5.2 Modelização no *DesignBuilder*

O edifício apresenta a envolvente exterior de cor clara, desenvolvendo-se em três pisos com integração vertical realizada com recurso a escada e elevador. Possui uma área total útil de 2346,06 m² aquecidos por um sistema de caldeiras a gás natural. Um dos pisos é totalmente enterrado, sendo denominado cave, e é onde se encontra os arrumos, um laboratório, a reprografia e a central térmica. Nos pisos 0 e 1 se encontram as salas de aula, laboratórios, gabinetes dos professores, gabinetes administrativos, salas de informática, biblioteca e auditório. Como se trata de uma construção antiga, não foram encontrados registos exatos dos materiais construtivos das paredes, pavimentos e cobertura, portanto o modelo considera um tipo de construção típico de Portugal sem elementos isolantes. As paredes externas, em contato com o ar exterior, foram caracterizadas de acordo com a Figura 17, onde também são apresentados os coeficientes de transmissão térmica e resistências térmicas.


	Inner surface	
	Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152
	Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
	Surface resistance (m ² -K/W)	0,130
	Outer surface	
	Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870
	Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130
	Surface resistance (m ² -K/W)	0,040
	No Bridging	
	U-Value surface to surface (W/m ² -K)	3,197
R-Value (m ² -K/W)	0,483	
U-Value (W/m²-K)	2,071	
With Bridging (BS EN ISO 6946)		
Thickness (m)	0,2130	
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	131,3200	
Upper resistance limit (m ² -K/W)	0,483	
Lower resistance limit (m ² -K/W)	0,483	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	3,197	
R-Value (m ² -K/W)	0,483	
U-Value (W/m²-K)	2,071	

Figura. 17. Composição das paredes externas.

A resistência térmica da parede e o valor-U, que podem ser visualizados na Figura 16, são de grande importância na validação do modelo, uma vez que não foram encontrados os dados da composição exata das paredes da escola. Portanto, foi realizada uma medição em campo e cálculo simplificado do coeficiente de transmissão térmica, de acordo com o procedimento detalhado na seção anterior deste capítulo, com objetivo de validar o valor suposto no modelo. Após posicionar o equipamento de medição e seus sensores de temperatura, aguardou-se alguns minutos para estabilização da medição e foi registrado os seguintes valores para as temperaturas interna, externa e superficial interna, respectivamente:

- $T_{int} = 21,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_{ext} = 15,8 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_{si} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Assim, com os valores medidos e o valor da constante $\alpha = 7,69$, escolhida de acordo com a Tabela 3, calcula-se (ANEXO C):

$$U = \alpha \cdot \frac{T_{int} - T_{si}}{T_{int} - T_{ext}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (5.1)$$

$$U = 7,69 \cdot \frac{21,5 - 20}{21,5 - 15,8} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (5.2)$$

$$U = 2,024 \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Verifica-se então o valor do coeficiente de transmissão térmica do modelo sendo suficientemente próximo ao valor real medido através de um procedimento simplificado, com um erro de aproximadamente 2,3%.

Os pavimentos do edifício foram divididos em dois tipos, os em contato com o solo e os intermédios. As composições de cada um dos tipos de pavimentos, respectivamente, estão apresentadas nas Figuras 18 e 19.

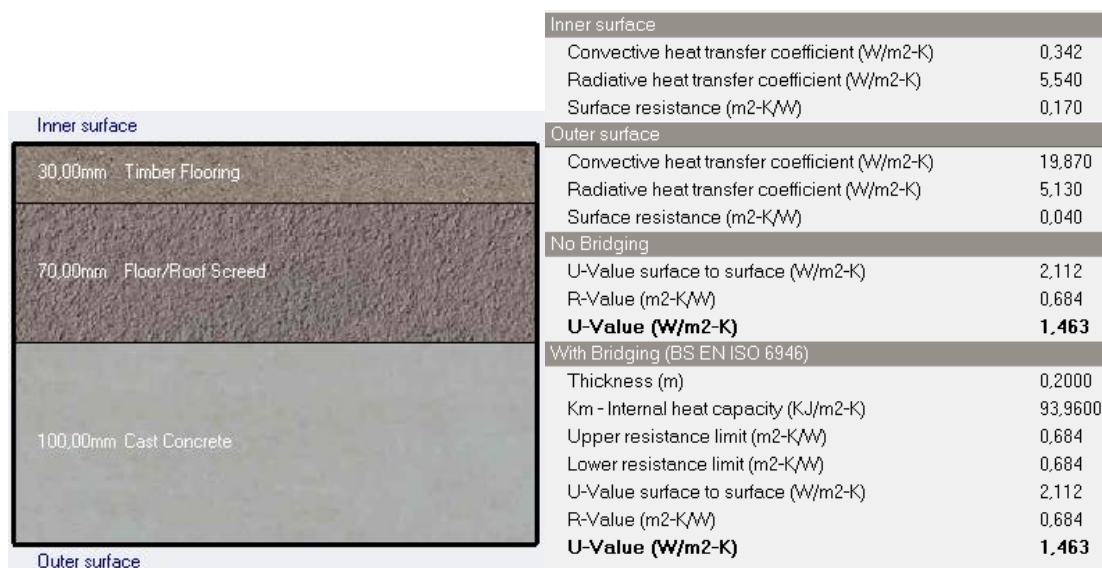


Figura. 18. Composição dos pavimentos em contato com o solo.

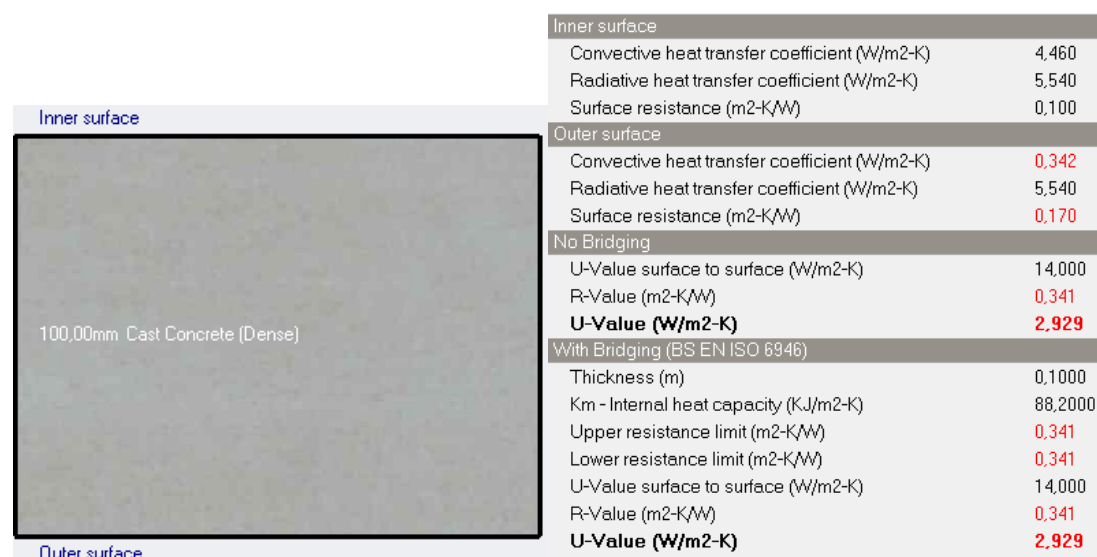


Figura. 19. Composição dos pavimentos intermédios.

A cobertura do edifício foi modelada como uma laje de concreto de 100mm, uma camada impermeabilizante de asfalto, uma gap de ar e acabamento simples de placas de gesso. A Figura 20 apresenta a estrutura descrita juntamente com os coeficientes térmicos.

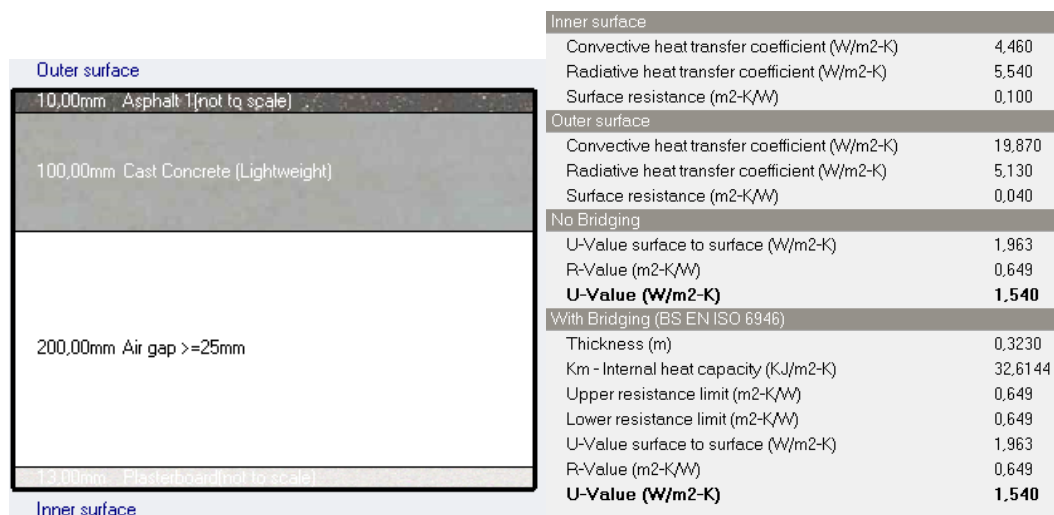


Figura. 20. Composição da cobertura.

A cobertura das salas de aula no último piso foi projetada para receber luz natural durante o dia. As salas possuem aberturas zenitais no teto que foram devidamente consideradas no modelo e são apresentadas na Figura 21.

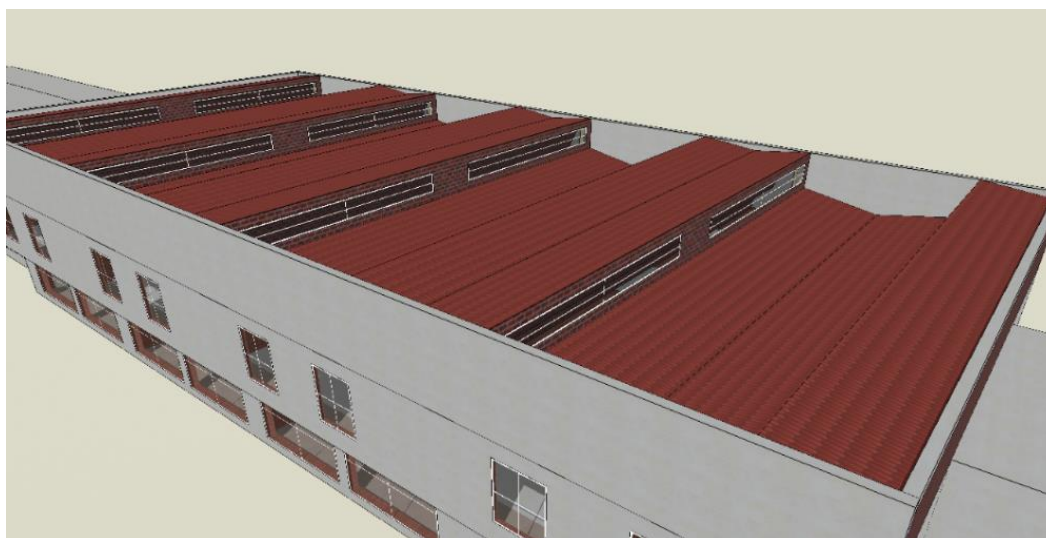


Figura. 21. Detalhe de iluminação natural na cobertura.

Os vãos envidraçados do edifício são constituídos por vidros simples de 3mm sombreado por grelhas metálicas internas com as dimensões apresentadas na Figura 22.

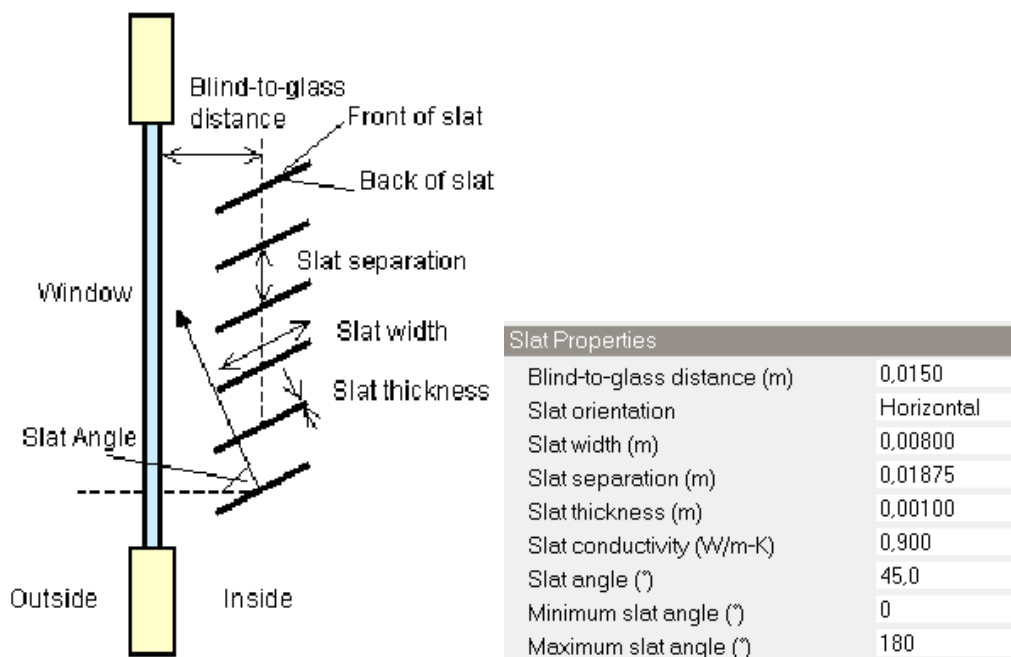


Figura. 22. Dimensões das grelhas metálicas de sombreamento nas janelas e portas envidraçadas.

O sistema de iluminação foi modelado de acordo com o levantamento de dados descrito na primeira seção deste capítulo. O perfil de utilização do sistema de iluminação durante os dias da semana foi determinado por um modelo de iluminação específico do *DesignBuilder* que é configurado para cada zona de acordo com o tipo de utilização.

Como não haviam cargas térmicas e elétricas de grande potência utilizadas na escola, foi utilizado um modelo do *software* para definição desses dados de acordo com o tipo de utilização das zonas.

O sistema de aquecimento do edifício é composto por duas caldeiras a gás natural com as especificações mostradas na Tabela 14. O rendimento considerado para a caldeira foi de 80%, um valor comum para esse tipo de equipamento. O *DesignBuilder* tem a capacidade de calcular a potência adequada do sistema de aquecimento de acordo com as necessidades do edifício modelado. No caso da escola de saúde a potência necessária para aquecimento foi de 408,84 kW. Recordar-se da seção anterior

que a capacidade máxima real das caldeiras instaladas é de 462 kW, ou seja, comparando o valor real instalado com a necessidade de aquecimento calculada pelo *software*, conclui-se que o equipamento instalado trabalha quase no seu limite para suprir as necessidades do edifício.

5.3 Validação do modelo e Resultados

Após a construção do modelo utilizando todos os dados coletados referentes aos consumos, ocupação, tipo de utilização, equipamentos e iluminação do edifício, foi realizada a simulação para aferir sua validade. Os resultados de simulação a serem comparados com os reais serão os de consumos globais do prédio, visto que não existem medições parciais dos consumos nas zonas separadamente.

Os consumos globais da simulação foram comparados com os consumos faturados no ano de referência mais recente. Analisando a Tabela 15, observa-se que o consumo de energia elétrica do modelo difere-se do consumo real em 2,20%, e que o consumo de gás natural é 1,95% maior que o consumo real. É importante notar que é difícil obter uma concordância total entre os consumos reais e simulado, uma vez que as faturas são referentes a anos anteriores e podem ter ocorrido mudanças na utilização do edifício.

Tabela 15. Consumos globais do edifício reais e simulados

Tipo de Energia	Faturas de Energia (kWh)		Consumo simulado (kWh)	Erro percentual (2019)
	2018	2019		
Energia Elétrica	138.226,00	141.285,00	138.172,73	2,20%
Gás Natural	289.211,00	233.909,00	238.473,64	-1,95%
Total	427.437,00	375.194,00	376.646,37	-0,39%

Nas Figuras 23 e 24 são apresentados os consumos de gás natural e de energia elétrica, respectivamente, comparados com os valores mensais obtidos na simulação. Nota-se uma boa aproximação dos consumos nos meses do ano, principalmente em relação ao gás natural. Porém, em alguns meses existe uma diferença maior entre os

valores comparados, como por exemplo no consumo de gás natural no mês de maio e no consumo de energia elétrica nos meses de janeiro e fevereiro. Esse erro maior deve-se provavelmente aos meses no ano com clima atípico, onde foi necessário um menor uso de equipamentos de aquecimento e arrefecimento, e também, no caso do gás natural, por alguns dos consumos mensais serem obtidos com base em estimativas.

Na Figura 25 são apresentadas as emissões de dióxido de carbono obtidas na simulação em comparação com os dados reais calculados.

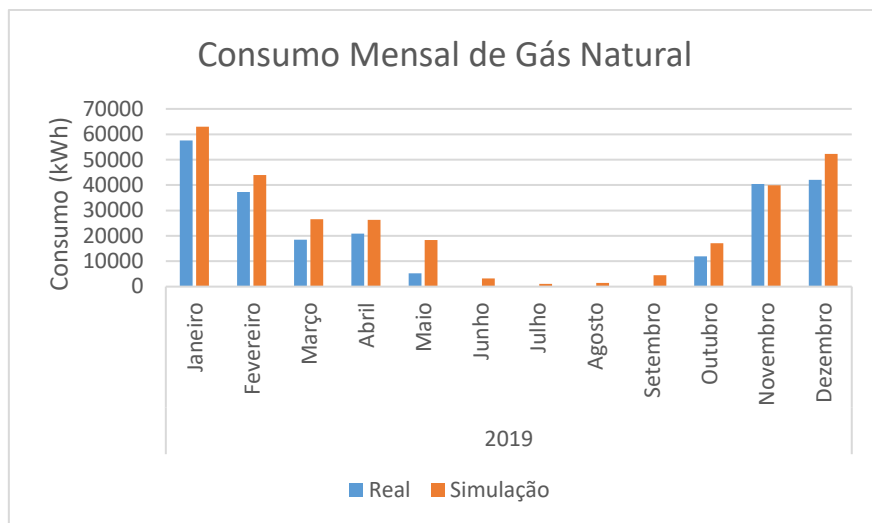


Figura. 23. Consumos mensais de gás natural reais e simulados

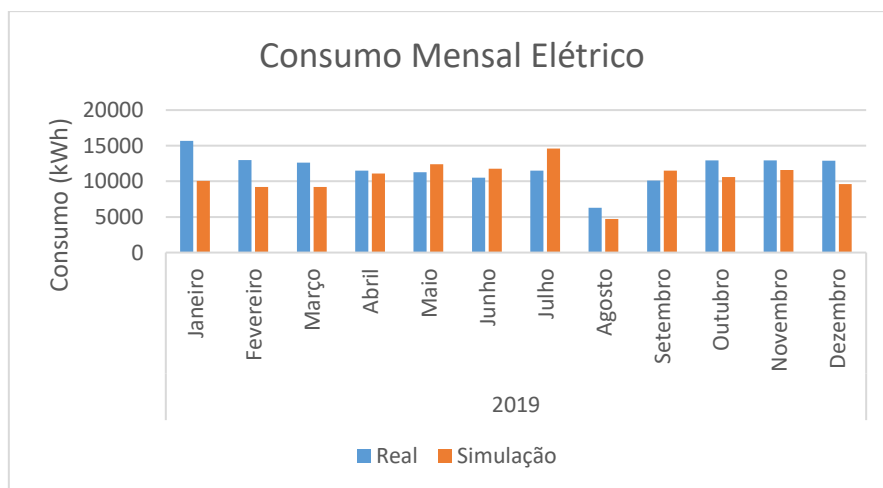


Figura. 24. Consumos mensais de energia elétrica reais e simulados

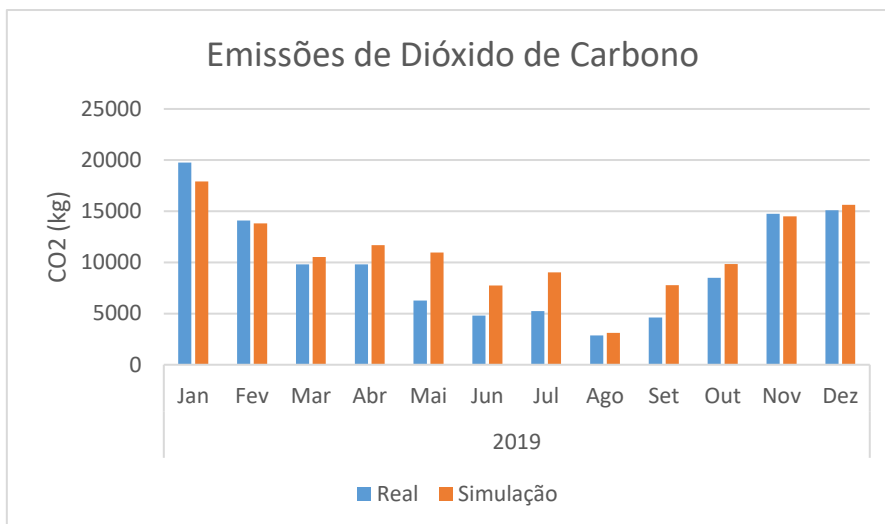


Figura. 25. Emissões de dióxido de carbono reais e simuladas

Como já dito anteriormente neste relatório, a ferramenta *DesignBuilder* permite dimensionar os sistemas de climatização para responder as condições meteorológicas durante o inverno, ou seja, determinar as necessidades de aquecimento do edifício. A simulação das necessidades de aquecimento permite obter resultados relativos a temperatura interna do ar, temperatura externa e energia necessária para responder as variações de temperatura. Nas Figuras 26 e 27 pode-se verificar a variação da temperatura externa e a energia necessária para aquecimento do edifício onde percebe-se que a medida que a temperatura exterior aumenta, o consumo de energia diminui.

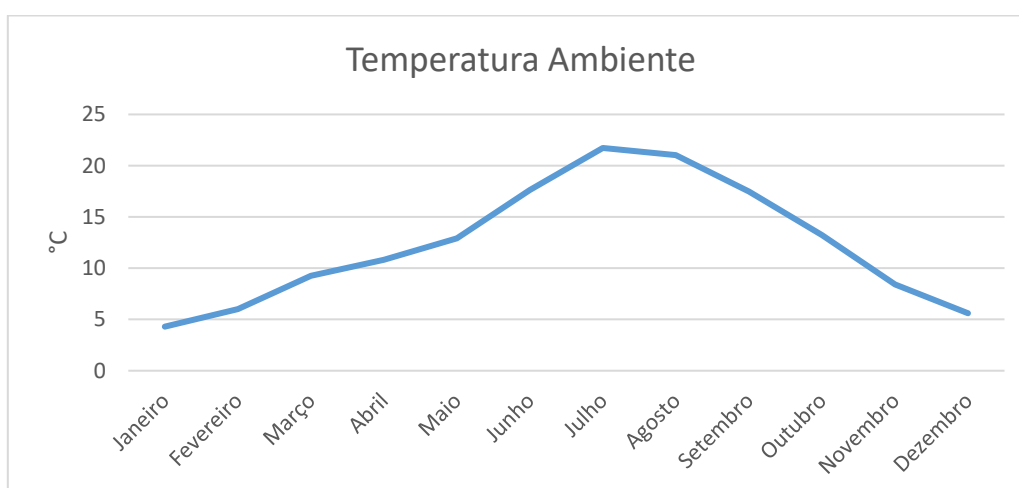


Figura. 26. Gráfico da temperatura externa ao edifício.

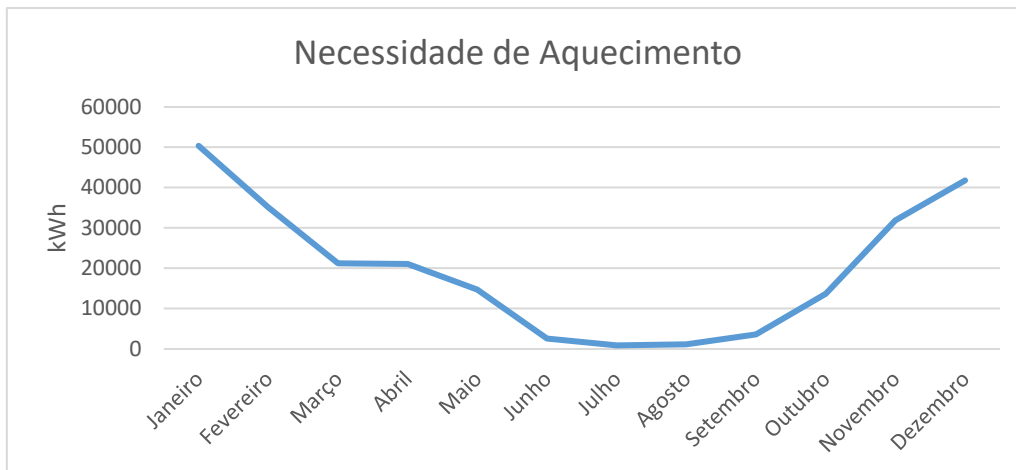


Figura. 27. Necessidades de aquecimento calculada para o edifício.

A carga térmica total de um edifício é determinada através de cargas térmicas parciais, sendo elas relativas as paredes exteriores e interiores, envidraçados, cobertura exterior e interior, pavimento exterior, interior e em contato com o solo, ganhos solares e ganhos internos devido a iluminação, equipamentos e ocupação.

O balanço de ganhos e perdas através da envolvente e ganhos internos são apresentados nas figuras 28 e 29, respectivamente. Verifica-se que existem ganhos apenas pelos pavimentos internos (entre os pisos), sendo que as paredes externas são responsáveis pela maior perda de calor. Sobre os ganhos internos, nota-se que a iluminação se apresenta como um dos menores, sendo, provavelmente, porque a maior parte das lâmpadas são fluorescentes.

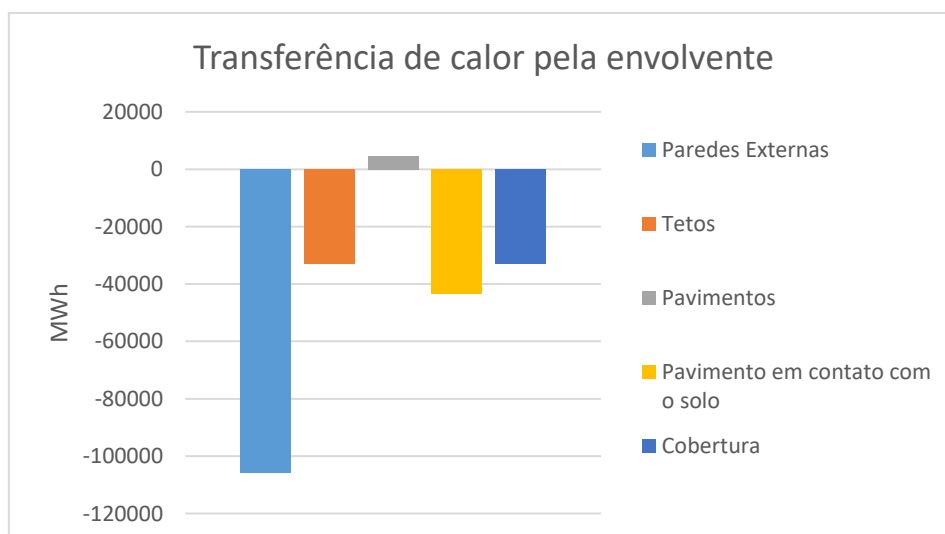


Figura. 28. Transferência de calor pela envolvente do edifício.

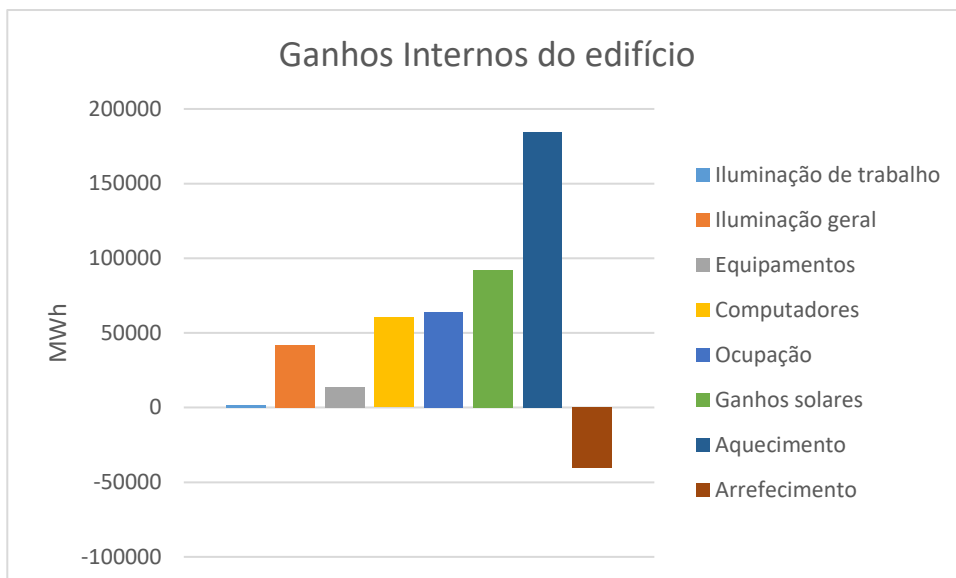


Figura. 29. Ganhos internos de calor no edifício.

Uma vez validado, o modelo construído será utilizado para avaliar possibilidades de melhorias no desempenho energético do edifício com objetivo de reduzir os consumos globais apresentados na Figura 30. Analisando o gráfico percebe-se um alto consumo de gás natural, que se deve ao fato do edifício não possuir isolamento térmico na sua envolvente. O foco do próximo capítulo será o estudo das melhorias propostas e análise do impacto no edifício através do modelo obtido.

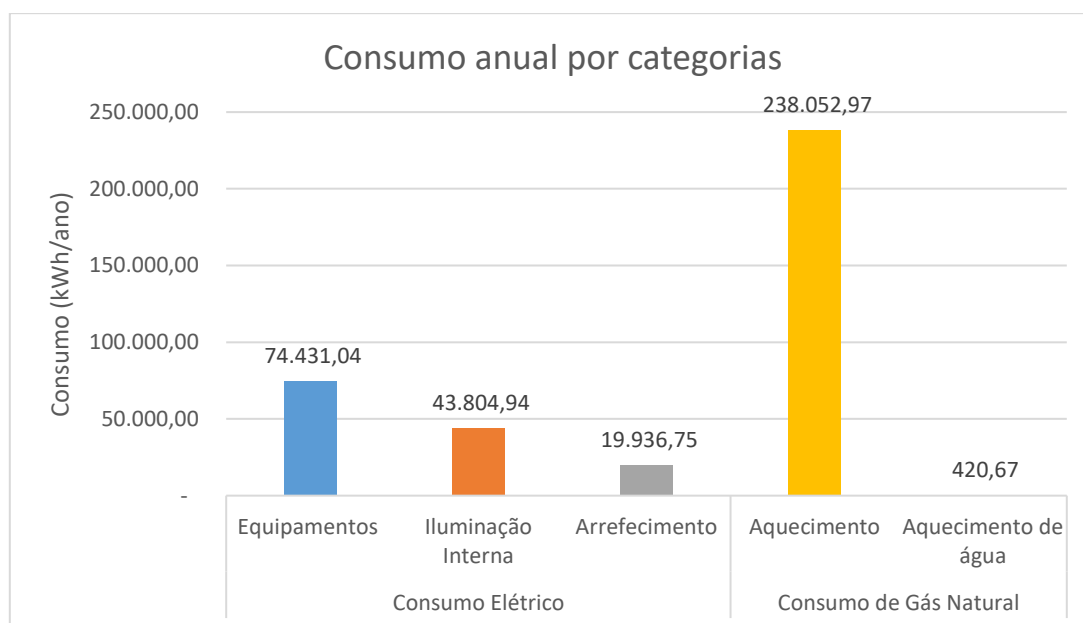


Figura. 30. Consumo global anual por categorias do edifício.

6 Propostas de melhorias

Após finalizada a modelização e análise dos resultados obtidos, foi possível identificar oportunidades de melhorias no desempenho energético do edifício. Como o edifício é antigo e carece de isolamento na sua envolvente, será analisado como a instalação de uma solução de isolamento externo impactará no consumo energético da escola. O objetivo é analisar a redução do consumo e estimar, através de um cálculo simplificado, o tempo de retorno do investimento.

6.1 Paredes externas

Para as paredes externas optou-se por instalar o isolamento na parte exterior, por ser o mais recomendado no caso de intervenções em edifícios antigos. A solução escolhida foi um sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems). Esse sistema consiste nas seguintes camadas: cola, isolamento térmico (neste caso EPS), camada de base armada com fibra de vidro, camada de primário e o revestimento final. Essa solução apresenta algumas vantagens, como a redução de pontes térmicas, economia a longo prazo, além de ser adequado para reabilitações de construções antigas.

Foram analisados os impactos da instalação de três espessuras diferentes de isolamento:

- 10cm de EPS;
- 8cm de EPS;
- 6cm de EPS;

A Tabela 16 apresenta o valor do coeficiente de transmissão térmica após a simulação com os três tipos de soluções propostas.

Tabela 16. Coeficientes de transmissão térmico após instalação de isolamento

	Atual (não isolado)	EPS 10cm	EPS 8cm	EPS 6cm
Valor-U (W/m²K)	2,071	0,335	0,403	0,504

Analisando os novos valores do coeficiente de transmissão após instalação do isolamento, percebe-se uma grande redução no seu valor, uma vez que a parede atual não apresenta nenhuma solução de isolamento térmico. Na Tabela 17 são apresentados

os valores de simulação para os consumos do prédio para as três medidas de melhoria analisadas.

Tabela 17. Economia anual obtida para as três medidas de melhoria analisadas.

		Atual	EPS 10cm	EPS 8cm	EPS 6cm
Consumo Elétrico	Equipamentos	74431,04	73234,43	73472,13	73710,63
	Iluminação Interna	43804,94	43140,19	43272,48	43405,1
	Arrefecimento	19936,75	20004,72	19987,97	19952,2
Consumo de Gás Natural	Aquecimento	238053	187813	190316,11	193907,48
	Aquecimento de água	420,67	400,04	403,98	408,02
Total		376646,4	324592,38	327452,67	331383,43
Redução %			14%	13%	12%
Redução kWh			52053,99	49193,7	45262,94
Preço kWh em €			0,0631	0,0631	0,0631
Redução €/ano			€ 3.284,61	€ 3.104,12	€ 2.856,09

Para os cálculos apresentados na Tabela 17, em relação ao preço do kWh, foi utilizado o preço médio de kWh no ano de 2019 da energia relativa ao gás natural consumida na Escola Superior de Saúde, de 0,0631 €/kWh. Foi utilizado o valor de médio de gás natural uma vez que o consumo elétrico quase não é afetado com a instalação do isolamento térmico.

Para calcular uma estimativa dos custos da instalação desses sistemas devemos utilizar as seguintes áreas de parede:

- Área de parede: 1824,9 m².

A Tabela 18 apresenta o custo de instalação das três propostas de melhoria juntamente com o tempo de retorno de investimento. O custo da instalação do sistema ETICS foi estimado através de uma pesquisa de preços na internet. [18][20]

Tabela 18. Tempo de retorno de investimento para instalação de isolamento nas paredes.

Solução	EPS 10cm	EPS 8cm	EPS 6cm
Área de parede m ²	1824,9	1824,9	1824,9
Preço por m ²	€ 30,00	€ 25,00	€ 20,00
Custo total	€ 54.747,00	€ 45.622,50	€ 36.498,00
Economia anual	€ 3.284,61	€ 3.104,12	€ 2.856,09
Tempo de retorno	16,7	14,7	12,8

Comparando a Tabela 16 com a Tabela 4, apresentada no capítulo 4, conclui-se que a instalação de EPS 8cm e 6cm não cumpre o requisito mínimo recomendado para o valor do coeficiente de transmissão térmica, de 0,35 W/m²K, para a zona climática III, onde o edifício está localizado. Já com o EPS 10cm, obteve-se um valor de U = 0,335 W/m²K, com um investimento estimado em 55 mil euros e um tempo de retorno de investimento de aproximadamente 17 anos.

6.2 Cobertura

Para a cobertura optou-se por definir a seguinte medida de melhoria:

- Colocação de painel *sandwich* com 8 cm de isolamento de XPS.

O painel *sandwich* é composto por um conjunto de duas chapas de aço perfiladas intercaladas por uma camada de espuma rígida de isolante, proporcionando uma elevada resistência mecânica e um bom isolamento térmico. Esse tipo de painel permite a reabilitação térmica de cobertura de forma fácil, rápida e eficaz.

O novo coeficiente de transmissão térmica após a simulação com os painéis foi de 0,377 W/m²K.

Na Tabela 19 são apresentados os valores de simulação para os consumos do prédio para a medida de melhoria analisada.

Tabela 19. Economia anual obtida para a medida de melhoria analisada

		Atual	XPS 8cm
Consumo Elétrico	Equipamentos	74431,04	74431,04
	Iluminação Interna	43804,94	43804,94
	Arrefecimento	19936,75	17180,48
Consumo de Gás Natural	Aquecimento	238053	212611,09
	Aquecimento de água	420,67	420,67
Total		376646,4	348448,22
Redução %			7%
Redução kWh			28198,15
Preço kWh em €			0,0631
Redução €/ano			€ 1.779,30

Para os cálculos apresentados na Tabela 19, em relação ao preço do kWh, foi utilizado o preço médio de kWh no ano de 2019 da energia relativa ao gás natural consumida na Escola Superior de Saúde, de 0,0631 €/kWh. Foi utilizado o valor de médio de gás natural uma vez que o consumo elétrico quase não é afetado com a instalação do isolamento térmico.

Para calcular uma estimativa dos custos da instalação desses sistemas devemos utilizar as seguintes áreas de cobertura:

- Área de cobertura: 1021 m².

A Tabela 20 apresenta o custo de instalação da proposta de melhoria juntamente com o tempo de retorno de investimento. O custo da instalação dos painéis *sandwich* foi estimado através de uma pesquisa de preços na internet. [19][20]

Tabela 20. Tempo de retorno de investimento para instalação de isolamento na cobertura.

Solução	XPS 8cm
Área de cobertura m ²	1021
Preço por m ²	€ 15,00
Custo total	€ 15.315,00
Economia anual	€ 1.779,30
Tempo de retorno (anos)	8,6

A Tabela 21 apresenta o tempo de retorno de investimento caso se optasse pela instalação do isolamento térmico nas paredes e na cobertura, o que reduziria o consumo em cerca de 32%.

Tabela 21. Tempo de retorno de investimento para instalação de isolamento nas paredes e na cobertura.

Solução	EPS 10cm + XPS 8cm	EPS 8cm + XPS 8cm	EPS 6cm + XPS 8cm
Economia anual	€ 5.063,91	€ 4.883,43	€ 4.635,39
Custo total	€ 70.062,00	€ 60.937,50	€ 51.813,00
Tempo de retorno (anos)	13,8	12,5	11,2

Analisando as informações das tabelas deste capítulo, pode-se concluir que a proposta de melhoria que envolve a instalação de EPS 10cm nas paredes externas e XPS 8cm na cobertura é a mais interessante, uma vez que cumpre os requisitos mínimos recomendados para o valor do coeficiente de transmissão térmica na região onde o edifício se encontra, melhorando o conforto térmico do edifício nos períodos frios e reduzindo consideravelmente o consumo de gás natural para aquecimento. O custo

estimado total é cerca de 70 mil euros e o tempo de retorno do investimento é aproximadamente 14 anos.

Vale ressaltar que este estudo de custos de instalação e tempo de retorno de investimento para esse projeto foi realizado de forma superficial, uma vez que o foco deste trabalho foi a modelização e análise do desempenho energético do edifício. Ainda assim, percebe-se uma grande margem de melhoria do desempenho energético com tempos de retorno de investimento razoáveis, em torno de 14 anos, indicando que possa ser interessante um estudo detalhado nesse sentido.

6.3 Redução nas perdas de calor pela envolvente

Após a implementação da medida de melhoria de melhor custo/benefício (EPS 10cm nas paredes externas e XPS 8cm na cobertura), é possível comparar as perdas de calor através da envolvente do edifício antes e após a simulação com isolamento. Através da simulação, constatou-se que houve uma redução quase total de perdas pelas paredes externas e tetos (entre pisos), conforme apresentado na Figura 31. A redução da transferência térmica entre os pavimentos, conforme observa-se no gráfico, indica um maior equilíbrio térmico entre os pisos do edifício. O calor perdido através do pavimento em contato com o solo foi reduzido, mas ainda é representativo, uma vez que não foi adotada a instalação de isolamento térmico nessa região. Nota-se também uma redução de cerca de 94% no calor perdido pela cobertura.

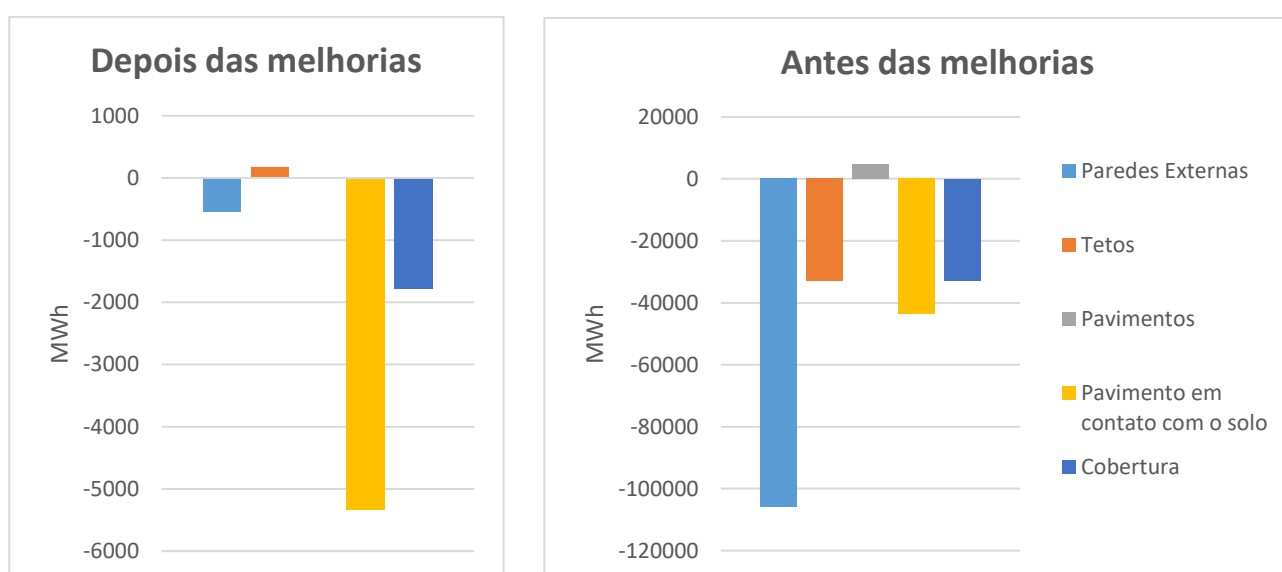


Figura. 31. Transferência de calor pela envolvente após a simulação da instalação de EPS 10cm (paredes) e XPS 8cm (cobertura)

6.4 Redução nas emissões de dióxido de carbono

Considerando a instalação do isolamento térmico nas paredes externas e cobertura obteve-se a redução no consumo apresentada na Tabela 22.

Tabela 22. Emissão de dióxido de carbono após a simulação da instalação das medidas de melhoria.

Ano	Energia Elétrica (kWhEP)	Gás Natural (kWhEP)	Total (kWhEP)	Emissão de dióxido de carbono (Kg)
2018	345.565	289.211	634.776	108.182
2019	353.213	233.909	587.122	98.112
Simulação com Melhorias	337.094	161.844	498.938	81.234

É notável a redução de 17% na emissão de dióxido de carbono em relação ao ano mais recente. No gráfico da Figura 32 pode ser observada uma comparação entre as emissões dos últimos anos e a simulação após a inserção do isolamento.

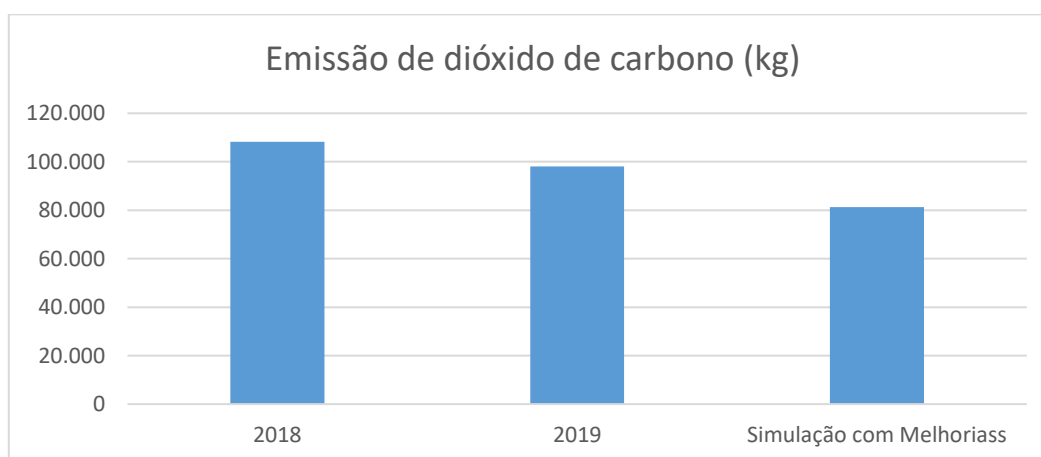


Figura. 32. Emissões de dióxido de carbono entre os últimos anos e o valor simulado após melhorias.

7 Conclusão

O objetivo principal deste trabalho foi atingido, uma vez que foi desenvolvido um modelo computacional do edifício devidamente calibrado que permite efetuar análises detalhadas concernentes ao seu desempenho energético tendo por base a simulação dinâmica multizona no *software DesignBuilder*.

O modelo foi desenvolvido tendo como referência toda a informação recolhida no edifício e calibrado através dos consumos anuais de energia elétrica e de gás natural obtidos nas faturas de energia dos anos de 2018 e 2019. O ano de referência utilizado foi 2019, por se tratar do período mais recente. A calibração e certificação dos resultados foi obtida comparando os valores reais e simulados, obtendo um erro de 0,39% da energia total consumida.

Verificou-se na simulação que as paredes externas e cobertura são responsáveis por grandes perdas de calor no edifício por se tratarem de uma envolvente ainda sem isolamento térmico. Por essa razão foi proposta uma análise do impacto de se investir na implementação de isolamento térmico a base de EPS e XPS. Mais uma vez notou-se a utilidade do modelo, obtendo uma redução considerável de 22% no consumo de gás natural após a simulação da instalação das medidas de melhoria e uma redução de 17% na emissão de dióxido de carbono equivalente. É importante dizer que a pesquisa sobre o custo de instalação e o retorno do investimento deste projeto é superficial, pois o foco deste trabalho foi modelar e analisar o desempenho energético do edifício. Ainda assim, foi possível perceber uma grande margem de melhoria do desempenho energético com tempos de retorno de investimento razoáveis, em torno de 12 anos, indicando que possa ser interessante um estudo detalhado nesse sentido.

7.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros é importante a realização de um estudo da relação custo/benefício de forma mais aprofundada para as duas medidas de melhoria propostas. Existem ainda outras medidas de melhoria que podem ser analisadas, como por exemplo:

- A substituição dos vidros simples das janelas por vidros duplos com camada de ar ou gás entre eles;
- Substituição do sistema de iluminação, predominantemente fluorescente, por um sistema LED;

- Utilizar um sistema de controle de iluminação nos corredores;
- Utilizar um sistema de controle linear ou *step* de iluminação nas salas de aula no segundo piso, uma vez que elas possuem boa iluminação natural devido as janelas e as aberturas zenitais na cobertura;
- Instalação de painéis solares na cobertura.

Pode-se ainda realizar medições mais detalhadas de consumo de energia, utilizando um analisador de energia, para obter diagramas de carga do edifício e das zonas onde o consumo tende a ser maior, como os laboratórios e salas técnicas. Seria útil também obter informações detalhadas sobre o quadro de energia e como são distribuídos os circuitos pelo edifício. Utilizando esses dados é possível também obter a classe energética do edifício antes e após a aplicação das propostas de melhoria do desempenho energético. Por fim, o trabalho pode ser evoluído para uma Auditoria Energética detalhada da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Bragança.

Referências

- [1] Direção Geral de Energia e Geologia, consultado em Outubro de 2020.
<https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-do-desempenho-energetico-dos-edificios/diretiva-dos-edificios/>.
- [2] DesignBuilder. Model Data Hierarchy & Data Inheritance, consultado em Agosto de 2020.
http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#_Model_data_hierarchy_and_data_inheritance.htm%3FTocPath%3DCore%2520Concepts%7C_____1.
- [3] DesignBuilder. Calculations, consultado em Agosto de 2020.
http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#Calculations.htm%3FTocPath%3DCalculations%7C_____0.
- [4] Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios.
- [5] Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação).
- [6] Ministério da Economia e do Emprego, Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto.
- [7] Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) – Áreas Setoriais/Eficiência Energética/Edifícios, consultado em Agosto de 2020.
<http://www.dgeg.gov.pt/default.aspx?cn=636364486449AAAAAAAAAAAA>.
- [8] Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro, consultado em Setembro de 2020. <https://dre.pt/application/conteudo/263693>.
- [9] Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013.
- [10] 10 Soluções em Eficiência energética – Isolamento de Paredes, consultado em outubro de 2020. <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-01-isol-paredes-1.pdf>.
- [11] 10 Soluções em Eficiência energética – Isolamento de cobertura, consultado em outubro de 2020. <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-02-isol-coberturas-1.pdf>.
- [12] 10 Soluções em Eficiência energética – Janelas Eficientes, consultado em outubro de 2020. https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-03_janelas-efic-1.pdf.

- [13] 10 Soluções em Eficiência energética – Proteções Solares, consultado em outubro de 2020. <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-04-prot-solares-1.pdf>.
- [14] Heywood, H. (2017). 101 Regras Básicas Para Uma Arquitetura De Baixo Consumo Energético. Espanha: Editorial Gustavo Gili.
- [15] Silver, P. &. (2008). Introduction to Architectural Technology. Londres: Laurence King.
- [16] OSRAM. (2 de Setembro de 2019). LedAdvance. Obtido de LedAdvance: <https://www.ledvance.pt/noticias-and-conhecimento/noticias/evolucao-da-lampada-de-poupanca-de-energia-na-osram/index.jsp>.
- [17] Dallabrida, E. C. (2015). Análise Comparativa Da Eficiência Energética Em Lâmpadas. Anais do Salão do Conhecimento. Unijuí: Universidade Regional Unijuí.
- [18] Gerador de Preços – Portugal. Consultado em novembro de 2020. http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Isolamentos_e_impermeabilizacoes/Isolamentos/NAS_Sistemas_ETICS_de_isolamento_e/NAS060_Sistema_ETICS_Wall-Term__REVETON__d.html
- [19] Orçamentos na construção civil, consultado em novembro de 2020. <https://orcamentos.eu/precos-de-paineis-sandwich-e-chapas-perfiladas/>
- [20] COVA, Sónia Alexandra Rodrigues. Análise do desempenho energético de um edifício de serviços. O caso dos Bombeiros Voluntários de Bragança. 2019. PhD Thesis.

ANEXO A – Levantamento de dados Iluminação

	Designação	Iluminação					
		Tipo	Potência (W)	Quantidade	Potencia Total (kW)	Área (m²)	Densidade de potencia (W/m²)
Subsolo	Laboratório	Fluorescente	36	24	0,864	40,06	21,57
	Central Térmica	Fluorescente	36	4	0,144	20,08	7,17
	Circulações	Incandescente	40	6	0,240	35,63	6,74
	Zone 1	Fluorescente	36	1	0,036	0,00	0,00
	Escadas	0	0	0	0,000	5,00	0,00
	Zone 2	LED	10	2	0,020	1,50	13,33
	Zone 3	Fluorescente	36	2	0,072	0,00	0,00
	Reprografia	Fluorescente	36	4	0,144	18,36	7,84
	Arrumo 1	LED	4	1	0,004	20,80	0,19
	Arrumo 2	LED	4	1	0,004	8,98	0,45
	Arrumo 3	LED	4	1	0,004	8,98	0,45
Piso 1	Gabinete 1.5	Fluorescente T5	28	6	0,168	14,00	12,00
	Gabinete 1.4	Fluorescente T5	28	2	0,056	14,00	4,00
	Hall dos gabinetes	0	0	0	0,000	0,00	0,00
	Gabinete 1.1	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Sala 13	Fluorescente T5	49	20	0,980	55,00	17,82
	Sala 12	Fluorescente T5	49	20	0,980	55,00	17,82
	Sala 11	Fluorescente T5	49	20	0,980	55,00	17,82
	Circulação 1	Fluorescente	18	16	0,288	50,00	5,76
	Banheiro 1	LED	4	4	0,016	13,00	1,23
	Gabinete Técnico CRI	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Circulação 2	Fluorescente	18	16	0,288	30,00	9,60
	Sala de Computadores	fluorescente	18	8	0,144	25,00	5,76
	Gabinete 1	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Gabinete 2	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Sala de reuniões	fluorescente	18	12	0,216	40,00	5,40
	Gabinete 3	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Gabinete 4	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Gabinete 1.6	Fluorescente T5	28	6	0,168	14,00	12,00
	Gabinete 1.7	Fluorescente T5	28	2	0,056	14,00	4,00
	Gabinete 1.10	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Sala 14	Fluorescente T5	49	20	0,980	55,00	17,82
	Sala 15	Fluorescente T5	49	20	0,980	55,00	17,82
	Sala 16	Fluorescente T5	49	20	0,980	55,00	17,82
	Banheiro 2	LED	4	4	0,016	13,00	1,23
	Laboratório Ant.	Fluorescente	28	8	0,224	24,50	9,14
	Banheiro 3	LED	4	4	0,016	13,00	1,23
Gabinete 1.8	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09	
Gabinete 1.9	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09	
Gabinete 1.3	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09	

	Gabinete 1.2	Fluorescente T5	28	2	0,056	11,00	5,09
	Apoio ao CRI	Fluorescente	18	3	0,054	5,60	9,64
	Banheiro 4	LED	4	4	0,016	13,00	1,23
	Auditório	0	0	0	0,000	0,00	0,00
	Laboratório Prat. Sim.	Fluorescente	28	8	0,224	47,94	4,67
	Zone 23	0	0	0	0,000	0,00	0,00
	Zone 25	0	0	0	0,000	0,00	0,00
	Escadas	0	0	0	0,000	0,00	0,00
	Zone 26	0	0	0	0,000	0,00	0,00
	Hall das escadas	0	0	0	0,000	0,00	0,00
	Capela	Incandescente	40	1	0,040		0,00
Piso 0	Sala 4	Fluorescente	18	24	0,432	46,32	9,33
	Sala 3	Fluorescente	18	24	0,432	46,78	9,23
	Sala 2	Fluorescente	18	24	0,432	46,23	9,34
	Laboratório	Fluorescente	18	24	0,432	47,05	9,18
	Sala de apoio ao laboratório	Fluorescente	36	4	0,144	18,44	7,81
	Hall	Fluorescente	13	5	0,065	28,69	2,27
	Circulação 2	Fluorescente	18	16	0,288	48,13	5,98
	Banheiro 4	LED	4	4	0,016	13,00	1,23
	Sala de Informática	Fluorescente	36	24	0,864	73,40	11,77
	Associação dos estudantes	Fluorescente	18	28	0,504	130,00	3,88
	Circulação 1	Fluorescente	18	36	0,648	60,53	10,71
	Banheiro 3	LED	4	4	0,016	13,00	1,23
	Balcão do bar	Fluorescente	18	1	0,018	7,95	2,26
	Sala 5	Fluorescente	36	12	0,432	43,04	10,04
	Sala 6	Fluorescente	36	16	0,576	50,16	11,48
	Gabinete 0-8	Fluorescente	36	2	0,072	13,00	5,54
	Gabinete 0-7	Fluorescente	36	2	0,072	13,00	5,54
	Gabinete 0-6	Fluorescente	36	2	0,072	13,00	5,54
	Gabinete 0-5	Fluorescente	36	2	0,072	13,00	5,54
	Gabinete 0-4	Fluorescente	36	2	0,072	13,00	5,54
	Gabinete 0-3	Fluorescente	36	2	0,072	9,00	8,00
	Gabinete 0-2	Fluorescente	36	2	0,072	9,00	8,00
	Secretaria	Fluorescente	36	4	0,144	15,77	9,13
	Entrada principal	Fluorescente	13	4	0,052		0,00
	Reprografia	Fluorescente	36	4	0,144	9,75	14,77
	Hall dos gabinetes	Fluorescente	36	2	0,072	2,86	25,17
	Banheiro 1	LED	4	2	0,008	15,00	0,53
	Banheiro 2	LED	4	2	0,008	15,00	0,53
	Hall da secretaria	0	0	0	0,000	4,30	0,00
	Arrumo do bar	Incandescente	60	1	0,060	5,37	11,17
	Segurança	Fluorescente	36	2	0,072	3,06	23,53
	Entrada principal	0	0	0	0,000		0,00
	Hall das escadas	Fluorescente	18	6	0,108	33,26	3,25
Auditório	Fluorescente	18	12	0,216	68,45	3,16	

Capela	Incandescente	60	1	0,060	9,30	6,45
Zone 31	0	0	0	0,000	0,00	0,00
Escadas 1	0	0	0	0,000		0,00
Biblioteca	Fluorescente	18	36	0,648	78,49	8,26
Zone 30	0	0	0	0,000	0,00	0,00
Escada biblioteca	0	0	0	0,000	0,00	0,00
Entrada da biblioteca	0	0	0	0,000	0,00	0,00
Zone 28	0	0	0	0,000	0,00	0,00
Zone 49	0	0	0	0,000	0,00	0,00
Sala de leitura	Fluorescente	18	48	0,864	66,35	13,02
Zone 46	0	0	0	0,000	0,00	0,00
Banheiro 5	LED	4	4	0,016	13,00	1,23

ANEXO B – Levantamento de dados Arrefecimento

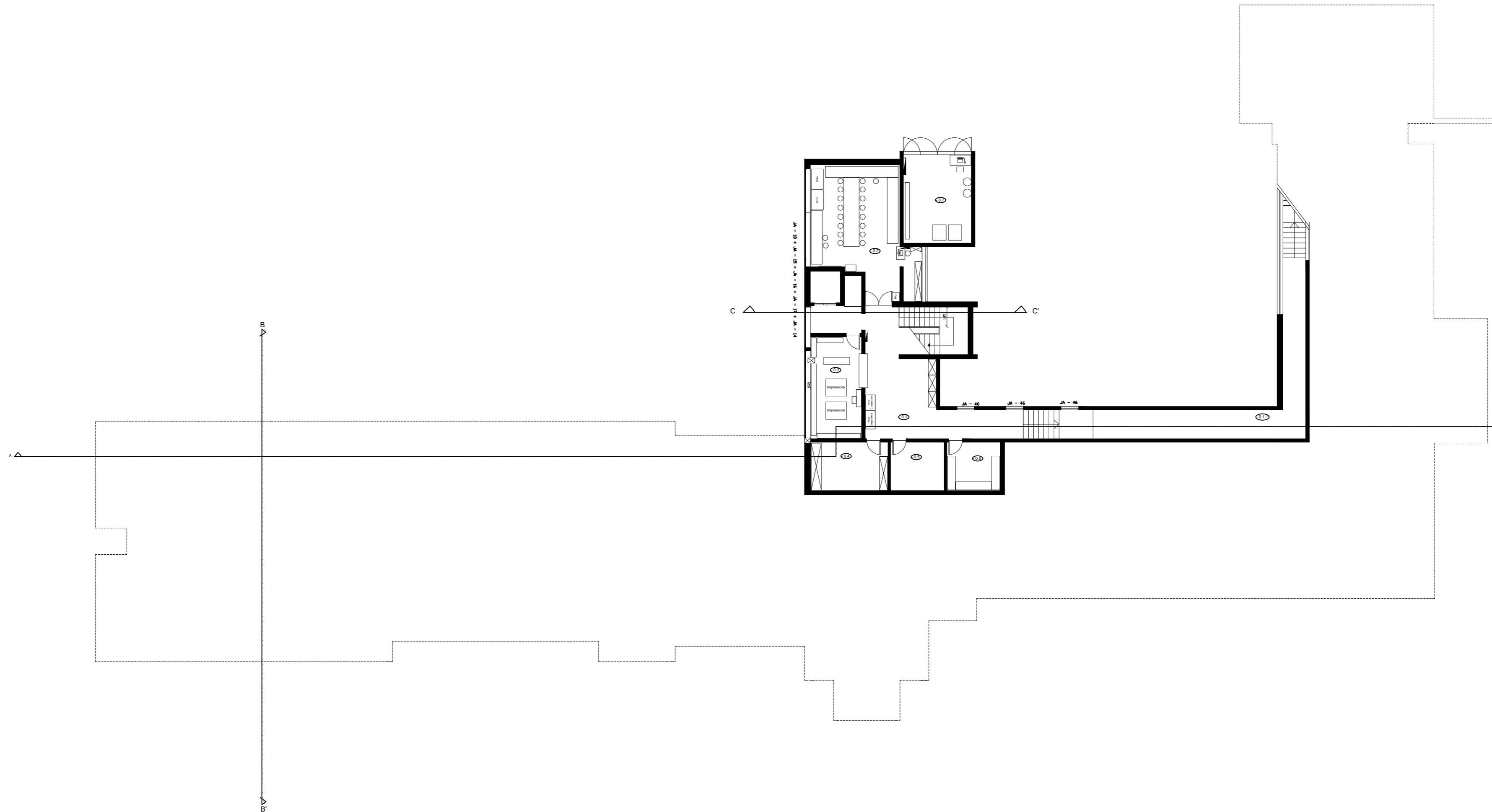
	Designação	Unidades individuais de Arrefecimento			
		Tipo	Potência	BTU	Quantidade
Piso 0	Sala 4	Split	7000W	24000 BTU	1
	Sala 3	Split	7000W	24000 BTU	1
	Sala 2	Split	7000W	24000 BTU	1
	Laboratório	Split	7000W	24000 BTU	1
	Sala de apoio ao laboratório	Split	4000W		1
	Hall	0	0	0	0
	Circulação 2	0	0	0	0
	Banheiro 4	0	0	0	0
	Sala de Informática	Split	7000W	24000 BTU	1
	Associação dos estudantes	Split	7000W	24000 BTU	1
	Circulação 1				
	Banheiro 3	0	0	0	0
	Balcão do bar				
	Sala 5	Split	7000W	24000 BTU	1
	Sala 6	Split	7000W	24000 BTU	1
	Gabinete 0-8	Split	2500W		1
	Gabinete 0-7	Split	2500W		1
	Gabinete 0-6	Split	2500W		1
	Gabinete 0-5	Split	2500W		1
	Gabinete 0-4	Split	2500W		1
	Gabinete 0-3	Split	2500W		1
	Gabinete 0-2	Split	2500W		1
	Secretaria	0	0	0	0
	Entrada principal	0	0	0	0
	Reprografia	0	0	0	0
	Hall dos gabinetes	0	0	0	0
	Banheiro 1	0	0	0	0
	Banheiro 2	0	0	0	0
	Hall da secretaria	0	0	0	0
	Arrumo do bar	0	0	0	0
	Segurança	0	0	0	0
	Entrada principal	0	0	0	0
	Hall das escadas	0	0	0	0
	Auditório				
	Capela				
	Zone 31				
Escadas 1					
Biblioteca					
Zone 30					

	Escada biblioteca				
	Entrada da biblioteca				
	Zone 28				
	Zone 49				
	Sala de leitura				
	Zone 46				
	Banheiro 5				

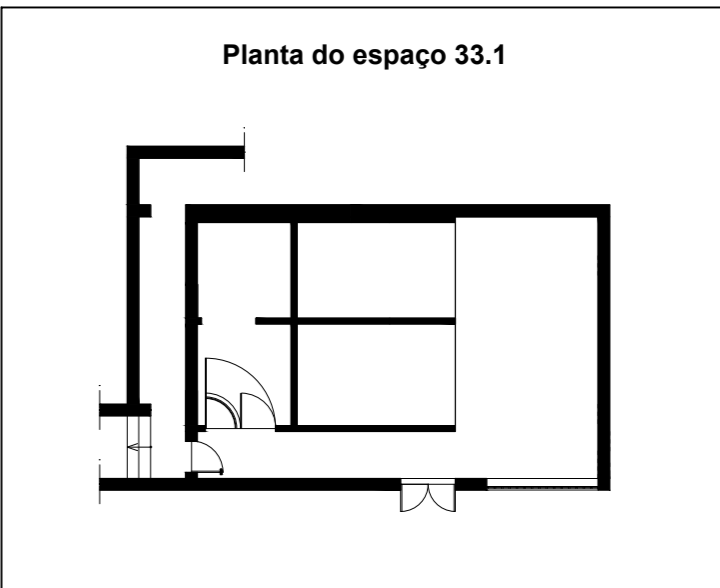
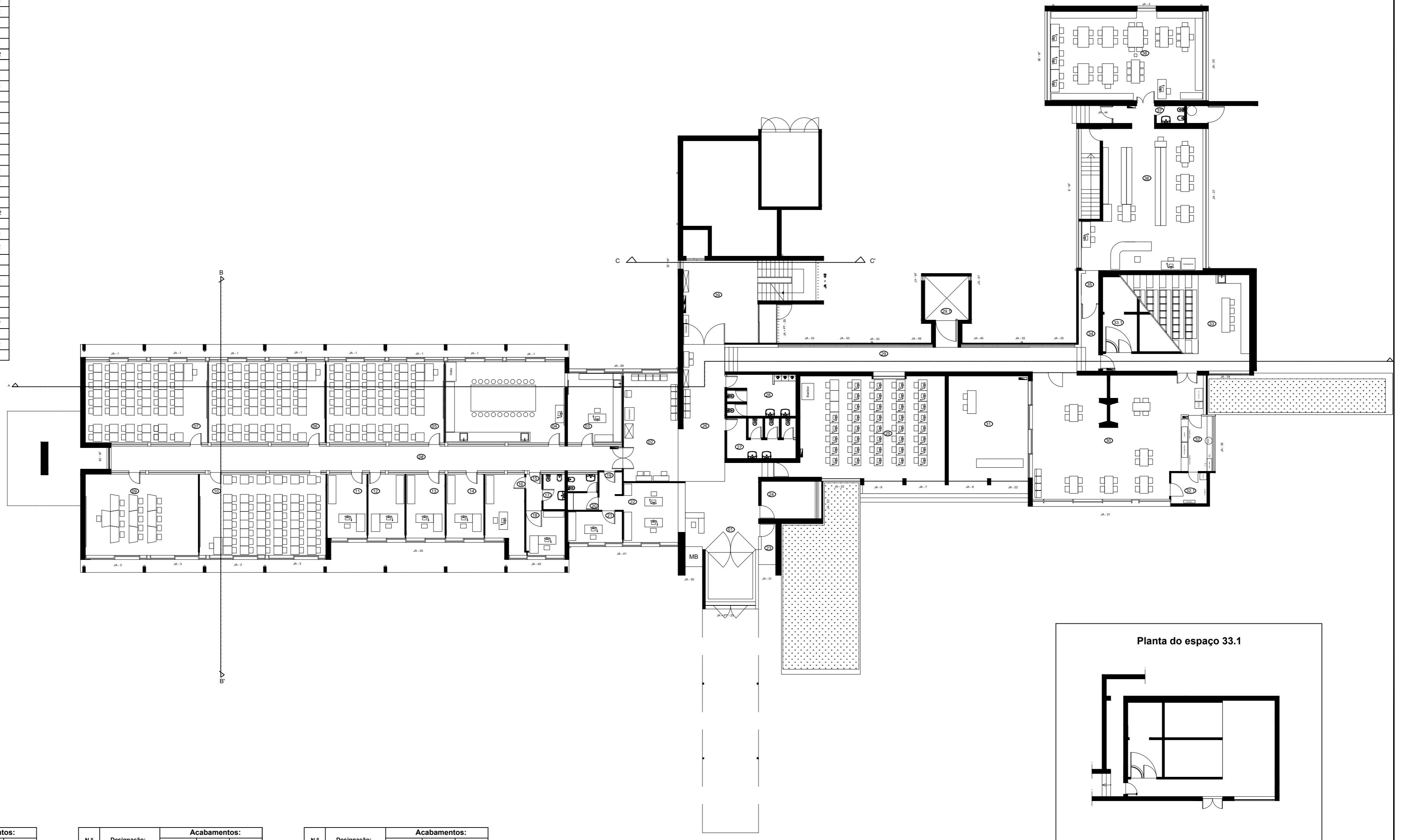
ANEXO C – Plantas do edifício

N.º	Designação:	Área:	Acabamentos:		
			Pavimento	Tecto	Paredes
-0.1	Circulações	41,63 m ²	PAV.3	TEC.1	PAR.1 PAR.3
-0.1.1	Galeria	41,66 m ²			PAR.1 PAR.3
-0.2	Laboratório	40,06 m ²	PAV.1	TEC.2	PAR.1 PAR.2 PAR.3
-0.3	Reprografia (alunos)	18,36 m ²	PAV.3	TEC.1	PAR.1 PAR.3
-0.4	Arrumos	12,97 m ²			
-0.5	Arrumos	8,98 m ²	PAV.3	TEC.1	PAR.1
-0.6	Arrumos	8,98 m ²			
-0.7	Central Térmica	20,80 m ²			

Mapa de Acabamentos						
Pavimentos		Rodapés		Paredes		
PAV.1	Mosaico hidráulico com 25x25 cm	ROD.1	Madeira pintada a tinta de esmalte cor vermelha	PAR.1	Areada e pintada a tinta plastica amarela	
PAV.2	Vinilico de cor vermelha			PAR.2	Revestida a azulejo com 15x15 cm	
PAV.3	Betão afagado com tratamento à superfície			PAR.3	Parede de betão à vista com tratamento à superfície	
					TEC.1	Betão afagado com tratamento à superfície
					TEC.2	Tecto falso em Pladur pintado a tinta branca



01	Entrada Principal	28,97 m2
02	Hall	28,69 m2
03	Sala de Apoio ao Laboratório	18,44 m2
04	Laboratório	47,05 m2
05	Sala 02	46,23 m2
06	Sala 03	45,78 m2
07	Sala 04	46,32 m2
08	Circulações 01	60,53 m2
09	Sala 05	43,04 m2
10	Sala 06	50,16 m2
11	Gabinete 0-8	12,38 m2
12	Gabinete 0-7	11,48 m2
13	Gabinete 0-6	12,16 m2
14	Gabinete 0-5	11,71 m2
15	Hall de gabinetes	2,86 m2
16	Gabinete 0-4	13,73 m2
17	I.S	32,30 m2
18	Gabinete 0-3	8,33 m2
19	Hall da secretária	4,30 m2
20	I.S	4,65 m2
21	Gabinete 02	8,17 m2
22	Secretaria	15,77 m2
23	Segurança	3,06 m2
24	Reprografia	9,75 m2
25	Sala de Informática	73,40 m2
26	Circulações (Hall)	28,96 m2
27	I.S (Feminino)	12,40 m2
28	I.S.(Masculino)	13,43 m2
29	Circulações 02	42,13 m2
29.1	Capela	9,30 m2
30	Bar/Sala Convívio	89,74 m2
31	Associação de estudantes	40,58 m2
32	Balcão do bar	7,95 m2
32.1	Arrumos Bar	5,37 m2
33	Auditório	68,45 m2
33.1	Arrumos Auditório	12,33 m2
34	Circulações 03	5,96 m2
35	Entrada Biblioteca	2,69 m2
36	Biblioteca	78,49 m2
37	I.S (Biblioteca)	2,35 m2
38	Sala de leitura	66,35 m2
39	Hall escadas	33,26m2



N.º	Designação:	Acabamentos:		
		Pavimento	Tecto	Paredes
01	Entrada Principal	PAV.2	TEC.1	PAR.1 PAR.4 PAR.3
02	Hall	PAV.2	TEC.1	PAR.1 PAR.3
03	Gabinete 1	PAV.5	TEC.1	PAR.1
04	Laboratório	PAV.2	TEC.1	PAR.1 PAR.3
05	Sala 02	PAV.5	TEC.1	PAR.1
06	Sala 03	PAV.5	TEC.1	PAR.1
07	Sala 04	PAV.5	TEC.1	PAR.1 PAR.3
08	Circulações 01	PAV.4	TEC.1	PAR.1
09	Sala 05	PAV.5	TEC.1	PAR.1 PAR.3
10	Sala 06	PAV.5	TEC.1	PAR.1
11	Gabinete 0-8	PAV.5	TEC.1	PAR.1
12	Gabinete 0-7	PAV.5	TEC.1	PAR.1
13	Gabinete 0-6	PAV.5	TEC.1	PAR.1
14	Gabinete 0-5	PAV.5	TEC.1	PAR.1

N.º	Designação:	Acabamentos:		
		Pavimento	Tecto	Paredes
17	I.S	PAV.1	TEC.1	PAR.2
18	Gabinete 0-3	PAV.5	TEC.1	PAR.5
19	Hall da secretária	PAV.5	TEC.1	PAR.1
20	I.S	PAV.1	TEC.1	PAR.2
21	Gabinete 02	PAV.5	TEC.1	PAR.1
22	Secretaria	PAV.5	TEC.1	PAR.4 PAR.3 PAR.4
23	Segurança	PAV.5	TEC.1	PAR.1
24	Reprografia	PAV.5	TEC.1	PAR.3
25	sala de Informática	PAV.1	TEC.1	PAR.4
26	Circulações (Hall)	PAV.6	TEC.1	PAR.3
27	I.S.(Feminino)	PAV.1	TEC.1	PAR.2
28	I.S.(Masculino)	PAV.1	TEC.1	PAR.2 PAR.1 PAR.3
29	Circulações 02	PAV.6	TEC.1	PAR.1 PAR.3
30	Bar	PAV.6	TEC.1	PAR.1

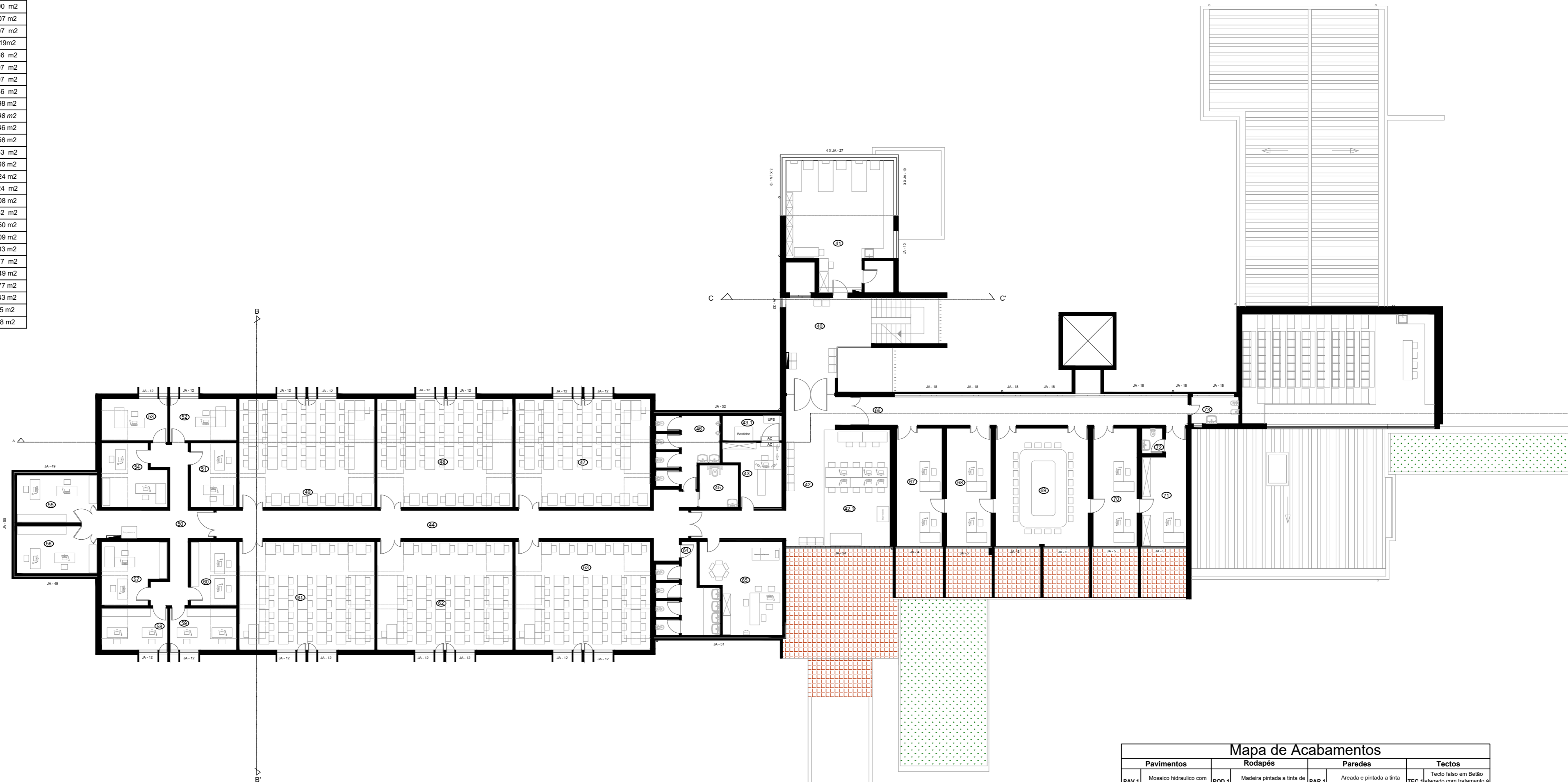
N.º	Designação:	Acabamentos:		
		Pavimento	Tecto	Paredes
33	Auditório	PAV.6	TEC.1	PAR.1
34	Circulações 03	PAV.6	TEC.1	PAR.1
35	Circulações 04	PAV.6	TEC.1	PAR.1
36	Biblioteca	PAV.6	TEC.1	PAR.1
37	I.S (Biblioteca)	PAV.1	TEC.1	PAR.1
38	Atrio (Biblioteca)	PAV.6	TEC.1	PAR.2
39	Biblioteca	PAV.6	TEC.1	PAR.1

Pavimentos		Rodapés	Paredes		Tectos	
PAV.1	Mosaico hidráulico com 25x25 cm	ROD.1	PAR.1	Areada e pintada a tinta plástica amarela	TEC.1	Tecto falso em Betão afagado com tratamento à superfície
PAV.2	Vinílico de cor vermelha		PAR.2	Revestida a azulejo com 15x15 cm	TEC.2	Tecto falso em Pladur pintado a tinta branca
PAV.3	Betão afagado com tratamento à superfície		PAR.3	Parede de betão à vista com tratamento à superfície		
PAV.4	Mosaico de pedra calcária de cor preta		PAR.4	Parede de tijolo à vista		
PAV.5	Taco de Madeira		PAR.5	Parede revestida a madeira		
PAV.6	Vinílico de cor cinza					
PAV.7	Aglomerado de cortiça					

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

ALUNO: (ALUNO)	PROJETO: (TIPOPROJETO)	PROFESSOR: (PROFESSOR)	NUMERAÇÃO: 00/00
CONTEÚDO DA PRANCHA: (CONTEÚDO PRANCHA)	ESCALA: (ESCALA)	PADRÃO: (FOLHA)	DATA: (DATA)

N.º	Designação:	Área:
40	Hall escadas	24,46 m2
41	Laboratório Práticas Simuladas	47,94 m2
42	Zona de Circulação	33,87 m2
42.1	Sala Computadores	28,56 m2
43	Gabinete Técnico CRI	11,24 m2
43.1	Apoio ao CRI	5,61 m2
44	Circulações 1	52,64 m2
45	I.S (deficientes)	6,21 m2
46	I.S	14,27 m2
47	Sala 11	54,90 m2
48	Sala 12	55,07 m2
49	Sala 13	55,07 m2
50	Hall dos Gabinetes	31,19m2
51	Gabinete 1.1	10,66 m2
52	Gabinete 1.2	10,97 m2
53	Gabinete 1.3	10,97 m2
54	Gabinete 1.4	13,46 m2
55	Gabinete 1.5	13,98 m2
56	Gabinete 1.6	13,98 m2
57	Gabinete 1.7	13,46 m2
58	Gabinete 1.8	10,56 m2
59	Gabinete 1.9	10,63 m2
60	Gabinete 1.10	10,66 m2
61	Sala 14	54,24 m2
62	Sala 15	54,24 m2
63	Sala 16	54,08 m2
64	I.S	15,32 m2
65	Laboratório Antropometria	24,50 m2
66	Corredor	33,09 m2
67	Gabinete	19,33 m2
68	Gabinete	18,77 m2
69	Sala de Reuniões	40,49 m2
70	Gabinete	18,77 m2
71	Gabinete	16,43 m2
72	I.S (gabinete)	1,95 m2
73	I.S	4,68 m2



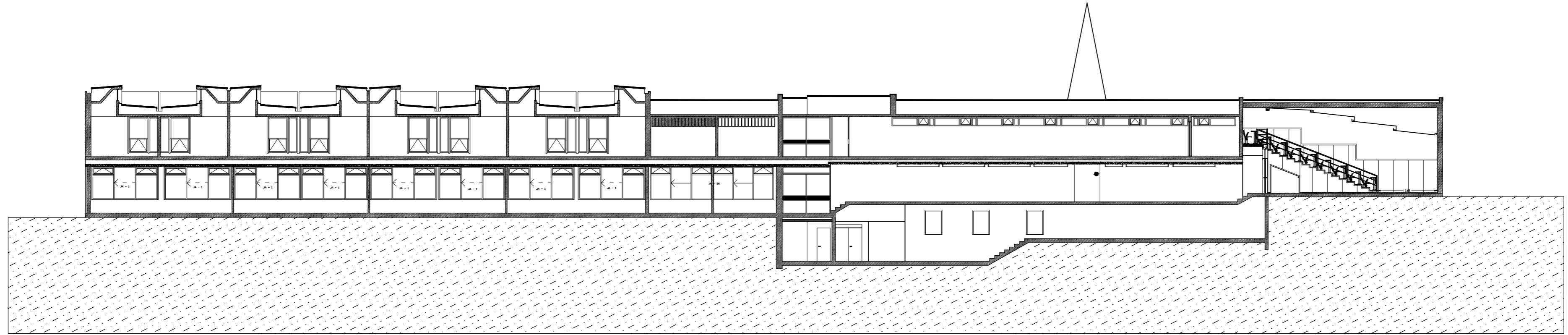
Mapa de Acabamentos				
Pavimentos	Rodapés	Paredes	Tectos	
PAV.1 Mosaico hidráulico com 25x25 cm	ROD.1 Madeira pintada a tinta de esmalte cor vermelha	PAR.1 Areada e pintada a tinta plástica amarela	TEC.1	Tecto falso em Betão afagado com tratamento à superfície
PAV.2 Vinílico de cor vermelha		PAR.2 Revestida a azulejo com 15x15 cm	TEC.2	Tecto falso em Pladur pintado a tinta branca
PAV.3 Betão afagado com tratamento à superfície		PAR.3 Parede de betão à vista com tratamento à superfície		
PAV.4 Mosaico de pedra calcária de cor preta		PAR.4 Parede de tijolo à vista		
PAV.5 Taco de Madeira		PAR.5 Parede revestida a madeira		
PAV.6 Vinílico de cor cinza				
PAV.7 Aglomerado de cortiça				

N.º	Designação:	Acabamentos:		
		Pavimento	Tecto	Paredes
40	Hall escadas	PAV.6	TEC.1	PAR.3
41	Laboratório Piso 1	PAV.6	TEC.1	PAR.3
42	Hall	PAV.6	TEC.1	PAR.1
43	Gabinete Técnico CRI	PAV.6	TEC.1	PAR.1
44	Circulações 1	PAV.1	TEC.1	PAR.1
45	I.S (deficientes)	PAV.6	TEC.1	PAR.2
46	I.S	PAV.6		PAR.2
47	Sala 11	PAV.6	TEC.1	PAR.1
48	Sala 12	PAV.7	TEC.1	PAR.1
49	Sala 13	PAV.7	TEC.1	PAR.1
50	Hall dos Gabinetes	PAV.7	TEC.1	PAR.1
51	Gabinete 1.1	PAV.7	TEC.1	PAR.1
52	Gabinete 1.2	PAV.7	TEC.1	PAR.1
53	Gabinete 1.3	PAV.7	TEC.1	PAR.1
54	Gabinete 1.4	PAV.7	TEC.1	PAR.1

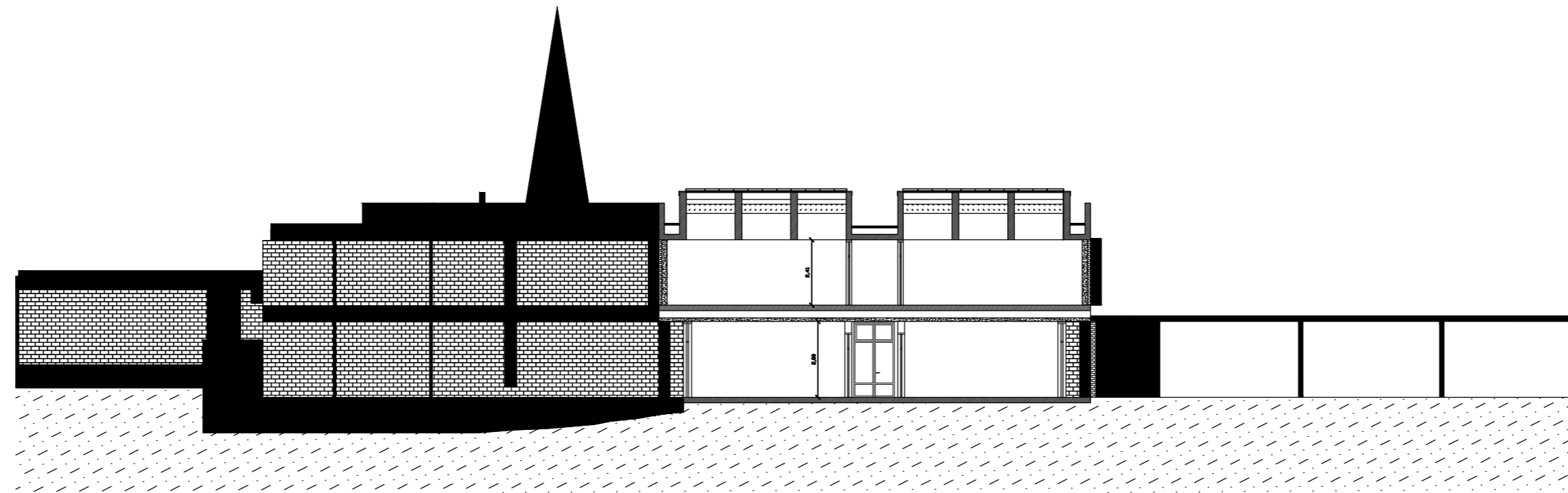
N.º	Designação:	Acabamentos:		
		Pavimento	Tecto	Paredes
57	Gabinete 1.7	PAV.6	TEC.1	PAR.1
58	Gabinete 1.8	PAV.6	TEC.1	PAR.1
59	Gabinete 1.9	PAV.6	TEC.1	PAR.1
60	Gabinete 1.10	PAV.6	TEC.1	PAR.1
61	Sala 14	PAV.1	TEC.1	PAR.1
62	Sala 15	PAV.6	TEC.1	PAR.3
63	Sala 16	PAV.6	TEC.1	PAR.3
64	I.S		TEC.1	PAR.2
65	Sala de Informática		TEC.1	PAR.1
66	Corredor		TEC.1	PAR.1
67	Gabinete		TEC.1	PAR.1
68	Gabinete		TEC.1	PAR.1
69	Sala de Reuniões		TEC.1	PAR.1
70	Gabinete		TEC.1	PAR.1
71	Gabinete		TEC.1	PAR.3

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

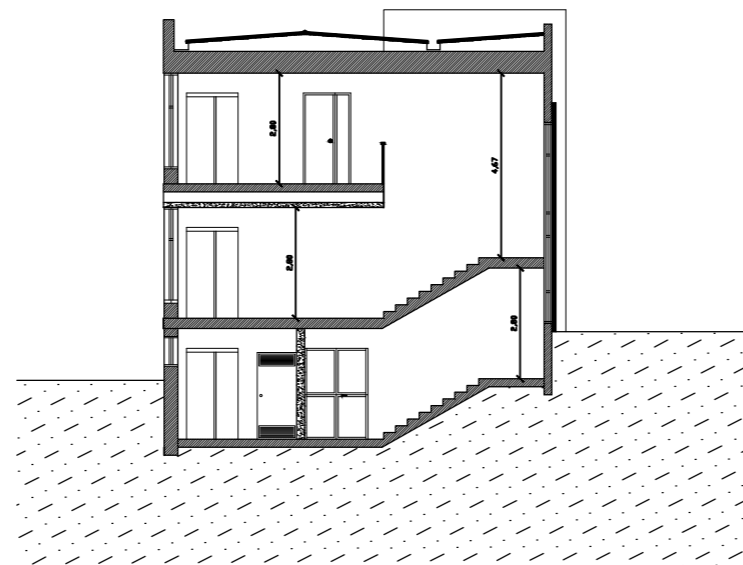
ALUNO: (ALUNO)	PROJETO: (TIPOPROJETO)	PROFESSOR: (PROFESSOR)	NUMERACAO: 00/00
CONTEUDO DA PRANCHA: (CONTEUDOPRANCHA)	ESCALA: (ESCALA)	PADRAO: (FOLHA)	DATA: MES/ANO



Corte A-A'



Corte B-B'



Corte C-C'

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA

ALUNO: (ALUNO)	PROJETO: (TIPOPROJETO)	PROFESSOR: (PROFESSOR)	NUMERAÇÃO: 00/00
CONTEÚDO DA PRANCHA: (CONTEÚDO PRANCHA)	ESCALA: (ESCALA)	PADRAO: (FOLHA)	DATA: MES/ANO