

Reabilitação construtiva e bioclimática das escolas primárias de Rio de Onor e Cova de Lua

Marcos Felipe Machado

*Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão para obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia da Construção*

Orientado por

Prof.^a Dra. Débora Rodrigues de Sousa Macanjo Ferreira

Prof. Msc. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

Eng. Rafael Sobrinho Correia

**Bragança
2019**

Dedico este trabalho a minha mãe.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”

-Simone de Beauvoir

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre ao meu lado abençoando meu caminho e tornando tudo isto possível.

Aos meus pais, Regina Rodighero e Jacir Machado por todo amor e apoio em todos os momentos da minha vida.

A minha namorada Isabela, que sempre esteve ao meu lado desde o começo desta jornada acadêmica, me oferecendo todo seu amor, carinho, companheirismo e apoio. Com muito amor e gratidão eu divido os méritos desta conquista com ela.

A toda minha família que sempre me apoiou e incentivou.

Aos meus orientadores Professora Débora Macanjo, Professor Rodrigo Scoczynski e Rafael Correia por todos ensinamentos, atenção e paciência que possibilitaram a realização deste trabalho.

A todos meus amigos que participaram positivamente da minha vida.

A todos os professores que passaram pela minha formação escolar e acadêmica, sendo a importância de seus ensinamentos incontestáveis.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Instituto Politécnico de Bragança.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1. CONCEITOS GERAIS	3
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.3. ESTRUTURAÇÃO DA TESE.....	7
CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1. DESENVOLVIMENTO URBANO E IMPACTOS AMBIENTAIS ..	10
2.2. REABILITAÇÕES.....	13
2.3. CONCEITOS RELEVANTES PARA O CONFORTO TÉRMICO....	14
2.3.1. Inércia Térmica	14
2.3.2. Iluminação Natural	16
2.3.3. Ventilação Natural	16
2.4. SISTEMAS PASSIVOS	17
2.4.1. Parede de Trombe	17
2.4.2. Estufa Anexa.....	20
2.4.3. Cobertura Captadora	23
2.4.4. Paredes Verdes.....	24
2.4.5. Espaço de Transição Orientado	25
2.4.6. Climatização Geotérmica.....	26
2.4.7. Cobertura Verde.....	27
2.4.8. Arrefecimento Evaporativo.....	29
2.5. DESIGNBUILDER E ENERGYPLUS.....	31
CAPÍTULO 3. DESCRIÇÃO DOS PROJETOS E METODOLOGIA DAS ANÁLISES	35
3.2. PROJETOS ORIGINAIS DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS	37

3.2.1. Escola Primária de Cova da Lua.....	37
3.2.2. Escola Primária de Rio de Onor	39
3.3. APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS DE REABILITAÇÃO PARA AS COMUNIDADES	42
3.4. PROJETOS DE REABILITAÇÃO	44
3.4.1. Escola Primária de Cova da Lua.....	44
3.4.2. Escola Primária de Rio de Onor	46
3.5. METODOLOGIA DAS ANÁLISES	47
3.5.1. Escola Primária de Cova da Lua.....	47
3.5.2. Escola Primária de Rio de Onor	50
CAPÍTULO 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	56
4.2. ESCOLA PRIMÁRIA DE COVA DA LUA	56
4.2.1. Época de aquecimento	56
4.2.2. Época de arrefecimento	63
4.3. ESCOLA PRIMÁRIA DE RIO DE ONOR	69
4.3.1. Época de aquecimento	69
4.3.2. Época de arrefecimento	77
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES	84
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	87
CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo energético na Europa	3
Figura 2 – Consumo energético no setor residencial.....	4
Figura 3 – Energia elétrica produzida em Portugal Continental	4
Figura 4 – Etiqueta energética dos edifícios	12
Figura 5 – Classe energético dos edifícios certificados em Portugal	12
Figura 6 – Exemplo de uma Parede de Trombe	18
Figura 7 – Desempenho térmico de um ambiente adjacente a uma parede de massa térmica elevada	19
Figura 8 – Funcionamento da Parede de Trombe durante as estações do ano	19
Figura 9 – Funcionamento de uma estufa anexa	21
Figura 10 – Exemplo de uma estufa anexa.....	21
Figura 11 – Exemplos de cobertura captadora localizadas na região transfronteiriça entre o norte de Portugal e a Espanha	23
Figura 12 – Edifício em Camden Town, Londres	24
Figura 13 – Exemplos de espaços de transição orientado	25
Figura 14 – Correto funcionamento do sombreamento de um espaço de transição orientado	26
Figura 15 – Depósito de vinho em uma estrutura semienterrada	27
Figura 16 – Construção antiga localizada na Espanha com uma cobertura verde	28
Figura 17 – Funcionamento do arrefecimento evaporativo direto	30
Figura 18 – Funcionamento de um arrefecimento evaporativo indireto	30
Figura 19 – Fluxograma explicativo do funcionamento do <i>software EnergyPlus</i>	33
Figura 20 – Fluxograma de inserção de dados no <i>software DesignBuilder</i>	34
Figura 21 – Projeto original da Escola Primária de Cova da Lua	38
Figura 22 – Fotos da Escola Primária de Cova da Lua	39
Figura 23 – Projeto original da Escola Primária de Rio de Onor	40
Figura 24 – Planta baixa da Escola Primária de Rio de Onor com especificações das paredes	41
Figura 25 – Fotos da Escola Primária de Rio de Onor	42
Figura 26 – Apresentação do projeto de reabilitação da Escola Primária de Rio de Onor para a comunidade.....	43

Figura 27 – Apresentação do projeto de reabilitação da Escola Primária de Cova da Lua para a comunidade	44
Figura 28 – Projeto de reabilitação da Escola Primária de Cova da Lua	45
Figura 29 – Projeto de reabilitação da Escola Primária de Rio de Onor	46
Figura 30 – Modelo do edifício original da Escola Primária de Cova da Lua no <i>software DesignBuilder</i>	48
Figura 31 - Modelo do edifício reabilitado da Escola Primária de Cova da Lua no <i>software DesignBuilder</i>	49
Figura 32 - Modelo do edifício original da Escola Primária de Rio de Onor no <i>software DesignBuilder</i>	51
Figura 33 – Modelo do edifício de reabilitação da Escola Primária de Rio de Onor no <i>software DesignBuilder</i>	52
Figura 34 – Carta solar da Escola Primária de Cova da Lua evidenciando o sombreamento durante um dia de janeiro	57
Figura 35 – Temperatura do ar durante a época de aquecimento da Escola Primária de Cova da Lua.....	58
Figura 36 – Balanço energético da época de aquecimento da Escola Primária de Cova da Lua	59
Figura 37 – Contribuição energética proveniente da salamandra na Escola Primária de Cova da Lua.....	60
Figura 38 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Cova da Lua	61
Figura 39 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Cova da Lua	62
Figura 40 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Cova da Lua	63
Figura 41 – Carta solar da Escola Primária de Cova da Lua evidenciando o sombreamento durante um dia de julho	64
Figura 42 – Temperatura do ar durante a época de arrefecimento da Escola Primária de Cova da Lua.....	65
Figura 43 – Contribuição energética proveniente do ar condicionado na Escola Primária de Cova da Lua.....	66

Figura 44 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Cova da Lua.....	67
Figura 45 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Cova da Lua.....	68
Figura 46 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Cova da Lua.....	69
Figura 47 – Carta solar da Escola Primária de Rio de Onor evidenciando o sombreamento durante um dia de janeiro	70
Figura 48 – Ganhos solares através dos envidraçados na Escola Primária de Rio de Onor	71
Figura 49 – Temperatura do ar durante a época de aquecimento da Escola Primária de Rio de Onor	72
Figura 50 – Balanço energético da época de aquecimento da Escola Primária de Rio de Onor	73
Figura 51 – Contribuição energética proveniente da salamandra na Escola Primária de Rio de Onor	74
Figura 52 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Rio de Onor.....	75
Figura 53 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Rio de Onor.....	76
Figura 54 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Rio de Onor.....	77
Figura 55 – Carta solar da Escola Primária de Rio de Onor evidenciando o sombreamento durante um dia de julho	78
Figura 56 – Temperatura do ar durante a época de arrefecimento da Escola Primária de Rio de Onor	79
Figura 57 – Contribuição energética proveniente do ar condicionado na Escola Primária de Rio de Onor.....	80
Figura 58 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Rio de Onor	81
Figura 59 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Rio de Onor	82

Figura 60 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Rio de Onor 83

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo estudar os projetos de reabilitação construtiva e bioclimática das Escolas Primárias de Cova da Lua e de Rio de Onor, situadas no conselho de Bragança. Através das informações fornecidas pelos relatórios de vistoria realizados em ambas escolas e dos projetos cedidos pela empresa responsável pela reabilitação foram avaliados o balanço energético e o conforto térmico dos edifícios. Estas análises foram realizadas através da modelagem e simulação das construções no *software DesignBuilder*, ferramenta que utiliza o *EnergyPlus* para seus cálculos.

Buscou-se através da modelagem de diversos cenários estimar os níveis térmicos pré e pós reabilitação e a necessidade energética proveniente dos sistemas de climatização para a manutenção dos mesmos, nos cenários em que estes foram considerados.

Após a análise em torno dos projetos de reabilitação foram apresentados resultados mensais, diários e horários dos ganhos energéticos internos dos edifícios, trabalhando nos cenários mais críticos encontrados, dividindo as análises em duas partes, a época de aquecimento e época de arrefecimento.

Nas simulações verificou-se um aumento considerável da temperatura interna durante a época de aquecimento e também uma estabilização térmica interna nos modelos de reabilitação durante a época de arrefecimento. Através do balanço energético foi possível verificar as grandes perdas energéticas que ocorriam nas envolventes exteriores dos edifícios, fator que comprometia o balanço energético dos edifícios antes da reabilitação e como, nos modelos de reabilitação, ocorreu um grande aumento no seu desempenho, ocasionando a diminuição do consumo energético proveniente dos sistemas ativos de climatização.

Através dos trabalhos realizados nesta dissertação torna-se clara a importância do uso saudável dos sistemas de climatização. Soluções passivas e ativas devem ser projetadas de maneira a trabalhar em harmonia, otimizando-se entre si. A opção de materiais bioclimáticos que possuam características isolantes tornam-se um dos principais agentes na utilização adequada de salamandras e ar condicionados, assim como de outros sistemas de climatização.

Palavras-chave: Construção bioclimática, Balanço energético, Conforto térmico.

ABSTRACT

The present dissertation aims to study bioclimatic rehabilitation projects of the Primary Schools of Cova da Lua and Rio de Onor, located in the municipality of Bragança. Through the information provided by survey reports carried out at both schools and the projects provided by the company responsible for the rehabilitations, the energy balances and the thermal comfort of the buildings were evaluated. These analyses were performed through modelling and simulation of the constructions in the software DesignBuilder, a tool that uses EnergyPlus for its calculations.

The objective was to estimate the thermal pre and post rehabilitation levels and the energy requirements of the climatization systems to maintain them, in the scenarios which they were considered.

The analysis around the rehabilitation projects were presented monthly, daily and hourly results of the internal energy gains of the buildings, working in the most critical scenarios founded, dividing the analyses in two parts, the times of heating and cooling.

In the simulations there was a considerable increase of the internal temperature during the heating season and also an internal thermal stabilization during the cooling season in the rehabilitation models. Through the thermal balance, it was possible to verify the energy loss that occurred through the walls, which compromised the energy balance of buildings before rehabilitation and how, in the rehabilitation models, there was a great increase in the performance of this environment.

Through the work carried out in this dissertation it becomes clear the importance of the healthy use of climatization systems. Passive and active solutions should be designed to work in harmony, optimizing each other. The choice of bioclimatic materials that have insulating characteristics become one of the main agents in the proper use of salamanders and air conditioners, as well as other climatization systems.

Keywords: Bioclimatic construction, Energy Balance, Thermal comfort.

CAPÍTULO 1.

Introdução e
objetivos

1.1. CONCEITOS GERAIS

Visando a sustentabilidade na área da construção civil, o controle do consumo energético dos edifícios é um dos principais alvos a serem almejados pelos projetistas. Diversas vezes, pela incapacidade de retenção energética das envolventes do edifício, escolhas equivocadas de soluções construtivas, ou a falta delas, e também escolhas errôneas de orientações do sítio edificado, obriga-se ao uso inadequado e desnecessário de equipamentos de climatização para manter o conforto térmico dos usuários [1]. Estes equipamentos, como é de conhecimento comum, possuem um consumo energético elevado.

Da energia final consumida na Europa, o setor residencial e terciário é responsável por 40% do consumo, como mostrado na Figura 1 [2].

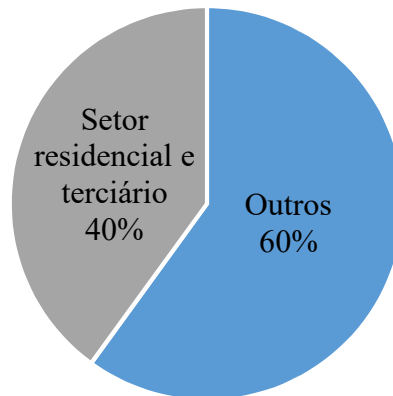


Figura 1 – Consumo energético na Europa

Dentro do setor residencial, 57% é utilizado para aquecimento do edifício, 25% para o aquecimento de água e 11% para a eletricidade em geral, como podemos ver na Figura 2 [3].

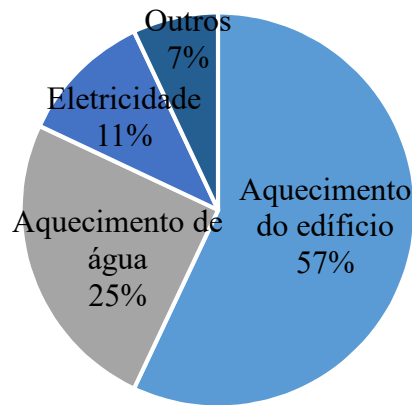


Figura 2 – Consumo energético no setor residencial

Isso mostra o enorme potencial de economia energética que este setor proporciona, principalmente através de estratégias de melhoria do desempenho energético.

Em contrapartida, com o grande consumo energético, busca-se cada vez mais a utilização de energias vindas de fontes renováveis e conseqüentemente o aumento da produção proveniente delas. Em 2018, 52,7% da energia elétrica produzida em Portugal Continental foi proveniente de fontes renováveis, como pode se ver na Figura 3 [4].

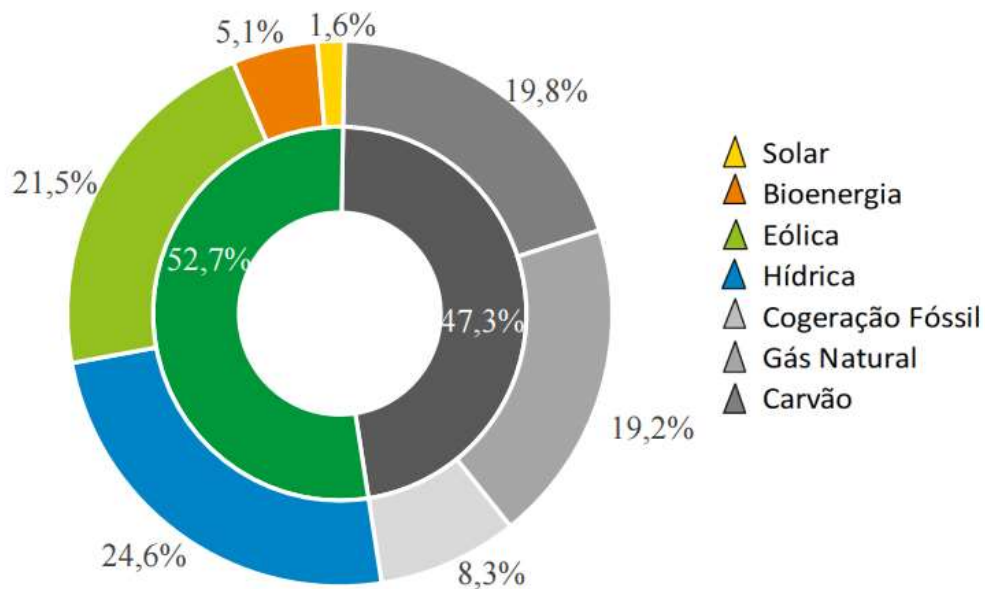


Figura 3 – Energia elétrica produzida em Portugal Continental (interpretação [5], dados [4])

Para diminuir o uso energético na construção civil, deve-se procurar meios que reduzam as perdas energéticas e otimize os ganhos no edificado ou, quando necessário, realizar a diminuição de temperatura do ambiente através de meios naturais. Uma das

maneiras de atingir estes resultados é através da aplicação de conceitos bioclimáticos por meio de soluções energéticas passivas no edificado.

A arquitetura bioclimática tem como base dos seus conceitos a sinergia entre o edificado e o clima local. Esta interação ocorre, quanto corretamente projetada, através de um agregado de escolhas, desde orientação do edificado até aos materiais escolhidos. Busca-se de tal maneira, um produto final que além de proporcionar aos utilizadores conforto e bem estar, minimize o impacto ambiental e diminua a necessidade de sistemas ativos [6].

De grande importância devido a saturação do edificado em Portugal, e na Europa em geral, a reabilitação das edificações mais antigas também desempenha um papel importante no avanço da sustentabilidade na construção civil. Sendo construções que apresentam um baixo desempenho em questão energética, quando reabilitadas de maneira correta, além de evitar o desperdício de materiais, por sua obra consumir menos que a construção de um edifício novo, corrigem falhas de projeto e potencializam a capacidade do edificado em fornecer conforto térmico aos usuários sem a necessidade excessiva do consumo energético de sistemas de climatização, como aquecedores elétricos [7].

Para se alcançar a sustentabilidade através de uma arquitetura bioclimática na construção civil, o projetista deve estar ciente da sua responsabilidade para com a correta caracterização das necessidades e fontes naturais energéticas disponíveis na região, assim como o uso adequado de sistemas passivos e ativos no edificado. Então, desta maneira, o mesmo esteja apto a idealizar um projeto condizente com a necessidade do proprietário da obra, tanto para uma nova obra, quanto para uma reabilitação, respeitando as responsabilidades exigidas pelas normas regulamentadoras e a própria responsabilidade social que um diploma, símbolo de conhecimento técnico, traz consigo.

Através da necessidade de adaptação ao local, a arquitetura bioclimática utiliza como principais estratégias de ganhos ou perdas energéticas as soluções passivas. Estes elementos construtivos utilizam as características locais para otimizar o desempenho do edificado favorecendo de maneira natural o aquecimento ou arrefecimento do edifício. [6], [8].

Melhorias relevantes no desempenho térmico de um edificado podem ser alcançadas com medidas simples como a correta orientação do edifício e de seus envidraçados ou existência de sistemas de sombreamento adequados. Através de um estudo prévio da região e com os conhecimentos corretos é possível realizar um projeto

que proporcione um desempenho energético excelente utilizando de sistemas ativos e passivos.

Cada região, de acordo com suas particularidades, desenvolveu diferentes estratégias construtivas passivas durante o tempo. Na região norte de Portugal, área principal do estudo deste trabalho, podemos destacar algumas soluções passivas, como a estufa anexa, a parede trombe, a cobertura captadora, entre outras. A maioria delas, impulsionadas pela característica do local possuir de um inverno rigoroso, tem como principal objetivo otimizar o ganho energético para proporcionar um aumento na temperatura interna do edifício [6].

1.2. OBJETIVOS

Este presente trabalho de dissertação pretende contribuir com informação no que diz respeito a construção e reabilitação bioclimática com recurso a aplicação de soluções passivas.

Serão analisadas duas reabilitações, na região norte de Portugal, em duas antigas escolas primárias que estão abandonadas e não recebem manutenções. Após as intervenções passarão a ser locais de uso comum para as comunidades na quais elas estão inseridas.

Será objetivo do trabalho a análise do desempenho térmico dos edifícios, simulando seu comportamento com a estrutura existente e as soluções que serão executadas, através do *software DesignBuilder*.

De maneira mais pormenorizada, os objetivos são:

- Simulação do desempenho energético dos edifícios originais e após a reabilitação, avaliando ganhos energéticos internos e necessidade dos sistemas ativos de climatização;
- Determinação, através dos resultados obtidos, do contributo de cada solução passiva existente no projeto no desempenho energético das edificações, determinando o impacto de cada um nos ganhos e perdas energéticas;
- Análise junto a Câmara Municipal de Bragança do mapa de quantidades e dos serviços orçamentados e a conformidade com o que se encontra em projeto, assim como a conformidade entre projetos complementares.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DA TESE

No Capítulo 1 apresenta-se uma breve introdução sobre o tema, assim como os objetivos almejados por esta dissertação e a maneira como a mesma está estruturada.

No Capítulo 2 realiza-se a revisão literária sobre os temas abordados nesta dissertação.

No Capítulo 3 explica-se a metodologia que será adotada para a realização do desenvolvimento deste trabalho e realiza-se a apresentação dos projetos estudados.

No Capítulo 4 analisam-se os resultados obtidos através das simulações realizadas.

No Capítulo 5 apresenta-se a conclusão deste presente trabalho e se faz uma breve análise de possíveis trabalhos futuros que poderão ser realizados a respeito deste tema.

CAPÍTULO 2.

Revisão de
literatura

2.1. DESENVOLVIMENTO URBANO E IMPACTOS AMBIENTAIS

Acompanhando o desenvolvimento urbano e tecnológico da sociedade, a construção civil com o passar dos anos foi cada vez mais exigente nos quesitos de quantidade e qualidade. Logo, os impactos causados por essa grande demanda cresceram de maneira exponencial e tornaram-se assim cada vez mais relevantes as escolhas das técnicas e materiais construtivos a serem utilizados. Sempre buscando como objetivo otimizar o produto final, tornando-o mais eficiente para os seus utilizadores, manter a viabilidade econômica e anular os impactos ambientais causados.

Para que uma construção seja adequada com as necessidades da sociedade atual e futura, ela deve ser idealizada e executada sobre 6 pilares:

- Funcionalidade;
- Segurança;
- Durabilidade;
- Aparência agradável;
- Menor impacto ambiental possível, levando em consideração a sua envolvente;
- Compactuar com os interesses econômicos do proprietário da obra [9].

Historicamente, o fator econômico foi sempre o mais levado em consideração e os de durabilidade e impactos os mais negligenciados [9], [10].

Tais preocupações com os impactos causados começaram a tornar-se relevantes somente a partir da segunda metade do século XX, momento em que a sociedade começou a estar atenta para os efeitos colaterais causados ao meio ambiente e o consumo de seus recursos que o desenvolvimento estava acarretando e medidas e soluções para tais impactos começaram a serem discutidas [11].

A primeira menção internacional sobre o que viria ser um tópico comum na agenda mundial ocorreu em 1990 com a publicação do 1º relatório do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC), composto por centenas de pesquisadores de diversos países e áreas de pesquisas. Dois anos depois, em 1992, realizou-se no Rio de Janeiro-BR a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, evento que marca na história a resposta internacional para as mudanças climáticas. Desde lá, diversos outros acordos e eventos foram realizados e metas estabelecidas, muitas delas, não alcançadas. Até que, após avanços e recuos nos

acordos climáticos, mais recentemente, em 2015, os países participantes do IPCC assinaram um novo acordo global, conhecido como Acordo de Paris [12], [13].

Especificamente na construção civil na Europa, foram definidas diversas diretrizes que visavam regulamentar o desenvolvimento urbano em resguardo da sustentabilidade. Destaca-se entre eles a *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) – Diretiva 2010/91/EU. Esta diretiva traz exigências sobre o desempenho energético dos edifícios, obrigando-os a atingir requisitos mínimos, assim como a certificar os edifícios de acordo com o seu balanço energético, entre outras exigências. Ela traz ainda a meta que, até 2020, todos os edifícios sejam classificados como NZEB (*Nearly Zero Energy Building*), ou seja, possuam um balanço energético quase zero e a pouca energia consumida seja proveniente de fontes renováveis, como energia eólica ou solar [9], [13]–[15].

Em Portugal, esta diretiva foi regulamentada através do Decreto-Lei nº 118/2013, que regulamentava o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). A partir deste ano toda construção nova, edificação submetida a uma grande intervenção, edifícios públicos, edifícios de serviço e comércio e construções submetidas a venda ou arrendamento obrigatoriamente deveriam possuir o certificado energético, “nota” que classifica o desempenho energético [9], [14], [15].

Em Portugal, a ADENE (Agência para a Energia) é a responsável por gerir a certificação energética dos edifícios, que podem ser classificados, conforme a Figura 4, em uma escala que vai de A+, sendo esta a melhor certificação energética, até F, a pior.

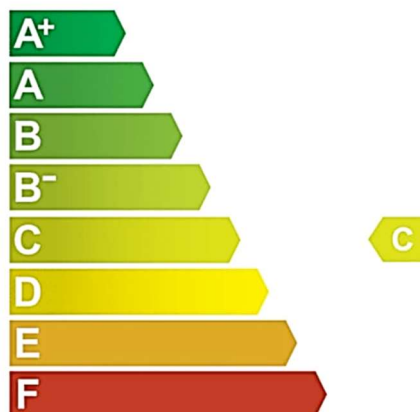


Figura 4 – Etiqueta energética dos edifícios [16]

Atualmente, 1052052 edifícios em Portugal possuem certificação [17]. De acordo com a Figura 5, 1,7% classificados como A+, 7,4% como A, 9,1% como B, 9,6% certificados com B-, 27,0% possuindo classificação C, 23,4% classificados como D, 13,9% como E e por fim 7,9% como F:

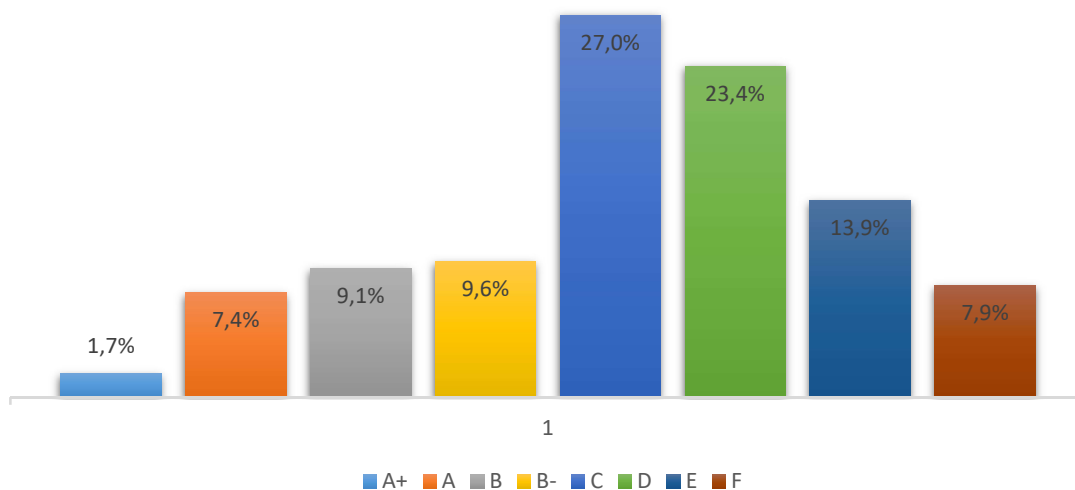


Figura 5 – Classe energético dos edifícios certificados em Portugal [17]

Analisando estes dados torna-se evidente a necessidade de melhoria no desempenho energético dos edifícios, visto que mais de 70% dos edifícios certificados encontram-se avaliados com uma nota igual ou abaixo da classe energética C.

Para realçar a importância da necessidade de medidas que mudem este cenário na construção civil, é importante entender o crescimento exponencial do gasto energético

que esta área teve nas últimas décadas. Apenas na Europa, este setor representa 40% da energia consumida no continente [2].

2.2. REABILITAÇÕES

Impulsionado pelas diretrizes de exigências de desempenho energético, os novos edifícios vêm tornando-se cada vez mais sustentáveis, trazendo assim menos impactos à sociedade. Assim, isso traz a discussão de que medidas tomar para que a grande área já edificada acompanhe tais exigências de desempenho energético e sustentabilidade [18].

Um dos focos da construção civil na última década tem sido a reabilitação de edifícios antigos, muitos deles, abandonados e sem receberem manutenção por um grande período. Através deste processo, se recupera o patrimônio histórico que aos poucos estava se perdendo, valorizando a história do país, além de evitar o desperdício de materiais que em muitos casos ainda exerciam suas funções.

Pode-se definir “reabilitação” como o processo de dar/renovar a funcionalidade de um edifício que não mais tem a capacidade de oferecer aos usuários as funcionalidades para a qual a construção foi concebida. Este processo traz consigo a discussão do quão deve-se manter da originalidade e aparência do edifício, muitas vezes histórica, em deterioração da modernidade [19].

A reabilitação de um edifício só deve ocorrer depois da caracterização e investigação correta do mesmo. Deve-se analisar sua importância histórica e o nível de deterioração em que se encontra. Só depois de um diagnóstico completo é possível projetar a maneira ideal de intervir na edificação respeitando aspectos como as características da arquitetura local, o patrimônio histórico e finalidade que ele terá após reabilitado, sempre prezando por não intervir naquilo que não se mostre necessário. Em paralelo a manutenção das características originais, deve-se trazer a modernidade dos materiais e técnicas construtivas proporcionando conforto e satisfação para os utilizadores do edifício [7].

Além de tudo isto, é preciso respeitar as preferências do proprietário da obra, buscando o melhor resultado sem abdicar da viabilidade econômica e ainda mantendo-se dentro das regulamentações locais [7].

Durante a fase de projeto de reabilitação, assim como no projeto de um edifício novo, deve-se tirar o maior proveito possível das características climáticas que a região oferece. Através de sistemas passivos corretamente construídos, é possível maximizar os

ganhos ou perdas energéticos, de acordo com a necessidade, minimizando os consumos energéticos posteriores [2].

O simples ato de reabilitar já pavimenta um caminho para a sustentabilidade, pois evita o desperdício de recursos já aplicados aumentando o ciclo de vida da edificação, evitando também a utilização de novos territórios e novos materiais [20].

2.3. CONCEITOS RELEVANTES PARA O CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico do edifício é determinado pela capacidade de garantir uma temperatura agradável para os seus usuários. Isto se dá pelas estratégias adotadas para arrefecimento nas épocas de altas temperaturas e pela capacidade de aquecimento e, principalmente, na capacidade de evitar perdas energéticas durante épocas de baixas temperaturas. Vale ressaltar que tal conceito é subjetivo, ou seja, cada pessoa na sua singularidade sente-se confortável com padrões únicos. Isto varia de acordo com diversas características como sexo, idade, nacionalidade, entre outros. Consequentemente há diversas maneiras para a determinação dos índices de conforto desenvolvidas durante a história [21].

Este conforto térmico deve ser alcançado, quando feito de maneira responsável, de tal modo a consumir menos energia possível, prezando por estratégias passivas que evitem o consumo de recursos. Quanto menor for a eficiência do edifício nestes requisitos, maior será o consumo de energia necessário para proporcionar conforto ao usuário [8].

Para que os níveis térmicos sejam atingidos sem o consumo excessivo proveniente dos sistemas de climatização, o projetista responsável deve compreender alguns conceitos para que, através das escolhas de materiais e de técnicas construtivas corretas, ofereça aos usuários do edifício um ambiente agradável, de acordo com a sua finalidade.

2.3.1. Inércia Térmica

Inércia térmica é capacidade do elemento de manter sua temperatura sem mudanças bruscas, sendo menos suscetível à mudança de temperatura do meio que a envolve. Uma parede que, quando a temperatura externa sofre grandes alterações,

necessita de mais tempo para perder energia é considerado um elemento de elevada inércia térmica [22].

Esta característica é de suma importância na qualidade térmica de qualquer edifício. Um envolvente exterior de baixa inércia térmica, durante o dia, irá responder rapidamente ao aumento da temperatura exterior causando altas temperaturas nas áreas internas do edifício e, durante a noite, quando as temperaturas baixam, perderá temperatura rapidamente. Em contrapartida, um envolvente exterior de elevada inércia térmica, durante o dia, possui a capacidade de acumular energia, evitando altas temperaturas internas e liberar tal energia térmica para o interior do edifício durante a noite, evitando picos de temperaturas [22], [23].

Ressaltada a importância da inércia térmica para o conforto térmico do edifício, conseqüentemente isso retoma a relevância das escolhas dos materiais e isolantes na definição da composição das envolturas, pois é através deles que se sabe se um elemento irá possuir elevada ou baixa inércia térmica [22], [23].

Um edifício pode ser classificado em 3 classes de inércia térmica, definida através do valor de I_t . Esta característica é calculada através da massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento de cada elemento que constitui a construção, como paredes, pavimentos e coberturas. Este parâmetro é calculado pela seguinte equação [24]:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{s_i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [kg / m^2] \quad [24]$$

Onde:

M_{s_i} : Massa superficial útil do elemento i [kg / m^2];

r : Fator de redução da massa superficial útil;

S_i : Área da superfície interior do elemento i [m^2].

A_p : Área interior útil de pavimento [m^2] [24].

Através do valor calculado de I_t , se define a Classe de Inércia Térmica, de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 – Classe de inércia Térmica [24]

Classe de inércia térmica	I_t [kg / m^2]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

2.3.2. Iluminação Natural

Característica que deve ser pensada e definida durante a etapa de projeto, a iluminação natural de um edifício deve ser proporcionada de maneira adequada, evitando desconfortos causados pelo sobreaquecimento de ambientes ou em níveis que prejudique o conforto visual dos usuários. Todavia, deve haver iluminação suficiente afim de proporcionar luminosidade necessária para as atividades as quais o ambiente é condicionado, minimizando a necessidade do uso de iluminação artificial, trazendo assim, um sentimento de conforto as pessoas [23].

Sendo assim, cada espaço deve ser individualmente avaliado de acordo com a sua finalidade, afim de que receba a iluminação ideal, sempre levando em consideração que é através dela que acontece os maiores ganhos térmicos, primordiais para o conforto térmico do ambiente [23].

A iluminação natural, recurso quase sempre disponível, muitas vezes não é otimizado nos projetos por não levar em conta os principais parâmetros que a influenciam, como por exemplo, a orientação do edifício. Por isso é preciso que o projetista tenha conhecimento das implicações da sua escolha e através de uma análise técnica tenha os conhecimentos necessários para a tomada de escolha correta para as particularidades de cada projeto [21].

2.3.3. Ventilação Natural

Principal responsável pela qualidade interna do ar do edifício, a ventilação natural deve ser projetada levando em consideração a necessidade da região na qual o

projeto será executado. É apontado como uma das principais estratégias para o arrefecimento e, conseqüentemente, para o conforto dos usuários do edifício [25], [26].

Deve-se garantir as trocas de ar necessárias no ambiente, fator determinante para o bem estar dos usuários. Todavia, é preciso se atentar, pois muitas vezes as principais perdas de calor ocorrem através das soluções escolhidas para a ventilação natural [27].

A ventilação natural pode ser disposta em dois diferentes tipos, cruzada ou unilateral. No esquema da ventilação cruzada, a corrente de vento possui uma abertura de entrada e, após atravessar o cômodo, uma saída em outra face. Este esquema é mais eficiente na realização de trocas de ar, portanto, sempre que possível, deve-se optar por ele. Já na ventilação unilateral há apenas uma abertura onde deve ocorrer a entrada e saída do ar [21].

A própria escolha da janela influencia no fluxo de ar, pois é ela quem determinará a área útil da abertura. Por exemplo, enquanto uma janela de abrir possui 100% de área útil, a janela de correr ou guilhotina possui somente 50%. Outros fatores relevantes, são a vegetação que existe em volta, edifícios e construções existentes nas proximidades e qualquer outro objeto que cause obstruções no fluxo de vento [21].

2.4. SISTEMAS PASSIVOS

Sistemas passivos de climatização são aqueles que utilizam diretamente as fontes naturais de energia que envolvem o edifício, como radiação solar e o vento, para manter os níveis desejados de temperatura, iluminação, entre outros fatores que promovem o conforto do ambiente [28]. Já soluções ativas são equipamentos que proveem o conforto do ambiente consumindo energia. Funcionando em paralelo com as soluções passivas, quando provenientes de energias renováveis, são de grande valia a sustentabilidade e conforto do edifício [1].

2.4.1. Parede de Trombe

Este elemento passivo pode ser considerado como um sistema constituído por um envidraçado orientado para o quadrante sul, quando situado em Portugal, uma parede acumuladora de espessura variável e preferencialmente pintada com uma cor escura, para otimizar seu desempenho e, por fim, separando os dois elementos, uma caixa de ar. Na

Parede de Trombe clássica a parede acumuladora possui um sistema de ventilação localizado na extremidade superior e outra na inferior. Porém, quando não idealizado na etapa de projeto, a parede acumuladora pode não possuir área para ventilação [29]. Sua principal diferença em relação a estufa anexa é o espaço existente entre o envidraçado e a parede acumuladora, sendo consideravelmente menor na parede de trombe [6].

A Figura 6 mostra, além das melhorias térmicas oferecidas, como arquitetonicamente a parede trombe consegue se adaptar aos traços do edifício e, quando bem idealizada, acrescentar no projeto uma singularidade interessante.

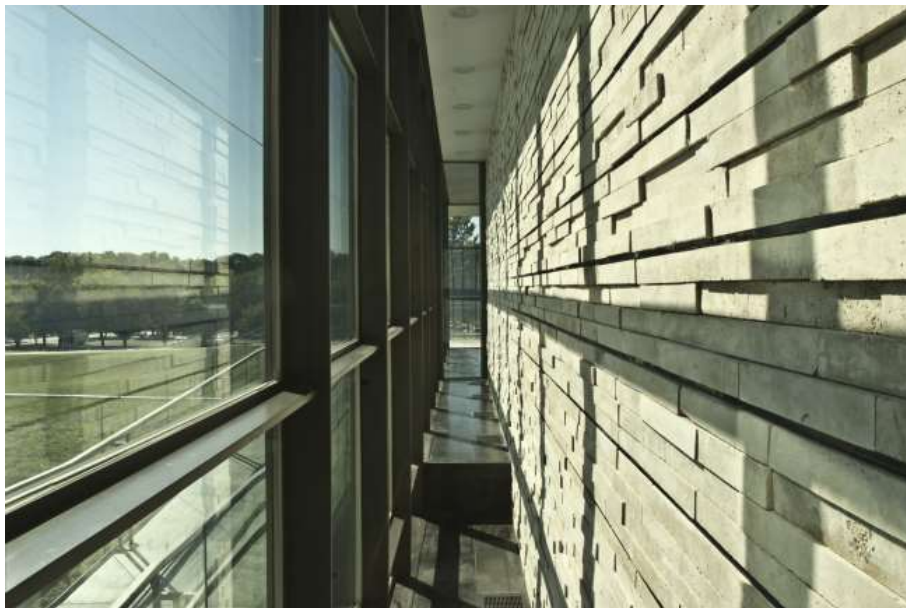


Figura 6 – Exemplo de uma Parede de Trombe [30]

Ressalva-se a importância de a parede estar orientada a sul na região estudada, pois é só desta maneira que será possível garantir a sua função de aquecimento na época de inverno e evitar ganhos de temperatura extras no Verão [31]. Quando possível é de grande valia a instalação de elementos de sombreamento em sistemas como este, para que seja possível anulá-los durante as épocas de arrefecimento [23].

O sistema descrito acima, utiliza-se dos fenômenos de radiação e convecção para garantir a estabilidade térmica na área adjacente, evitando oscilações térmicas [29]. A Figura 7 abaixo ilustra tal estabilidade térmica quando comparadas as temperaturas internas e externas de um cômodo adjacente a uma parede de inércia:

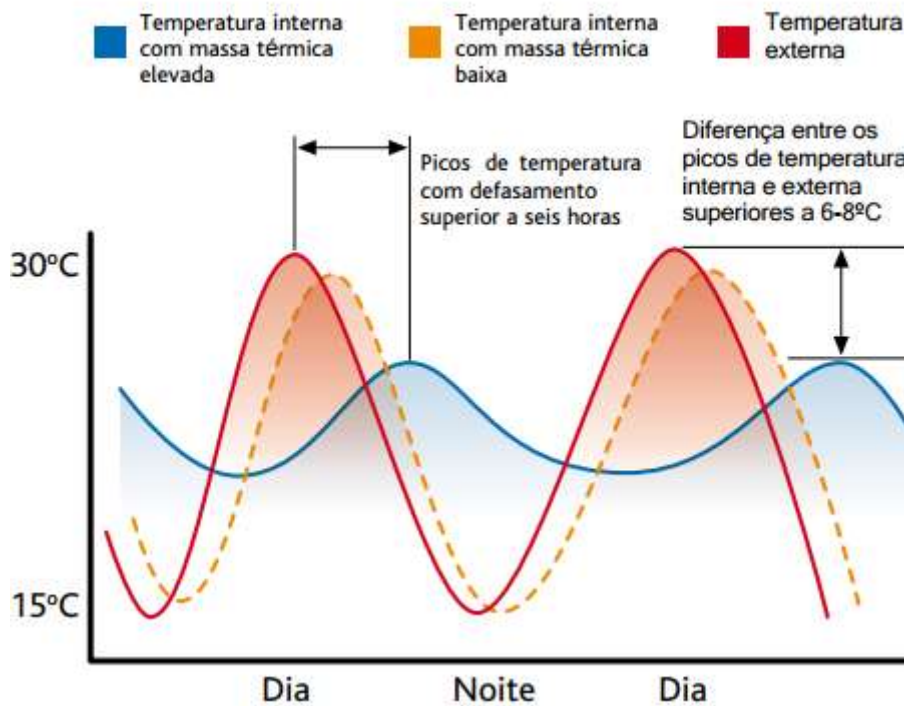


Figura 7 – Desempenho térmico de um ambiente adjacente a uma parede de massa térmica elevada (adaptado de [32])

O envidraçado, após receber a radiação solar, cria o efeito de estufa no espaço deixado entre ele e a parede de inércia. A energia nesse espaço é transmitida para o ambiente através da ventilação natural pelas aberturas nas extremidades da parede de inércia, quando ela existe, e através de condução pela própria parede. Além disso, a parede de armazenamento, pela inércia térmica, armazena energia durante o dia, horário de maiores temperaturas, e durante a noite libera a energia evitando os picos de temperatura [8]. A Figura 8 ilustra seu correto funcionamento durante as estações do ano:

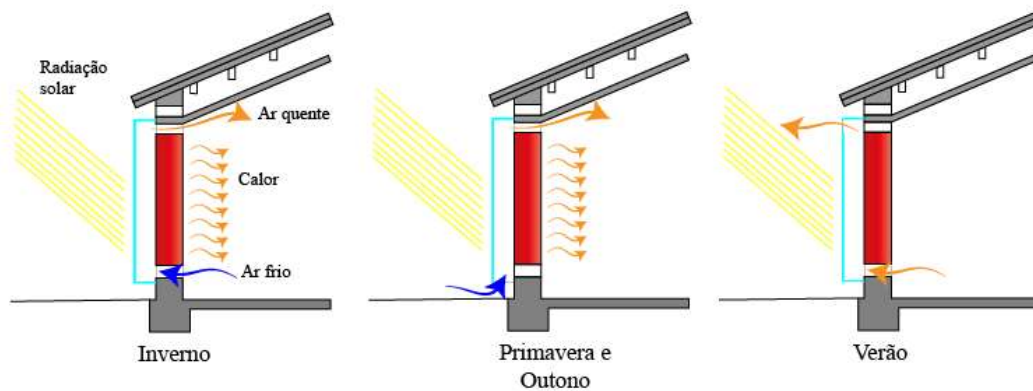


Figura 8 – Funcionamento da Parede de Trombe durante as estações do ano (adaptado de [8])

A parede acumuladora é o principal componente do sistema, sendo ela a responsável por armazenar a energia térmica e transmiti-la para o ambiente a qual pretende-se aquecer. Por esse motivo é importante a escolha correta dos materiais no qual pretende-se construí-la, pois o mesmo deve possuir características adequadas de capacidade calorífica, condutibilidade e transmissão térmica [33].

Como dito anteriormente, o envidraçado sendo o elemento que recebe a energia inicialmente, é de grande importância no desempenho da parede de trombe. Suas características geram grande impacto pois são elas que determinarão quanta porcentagem da radiação solar será transmitida, refletida e absorvida pelo envidraçado. Sendo assim deve-se escolher o envidraçado correto de acordo com o desempenho que se deseja atingir com o sistema [29], [34].

A espessura da caixa de ar exerce influência nos ganhos térmicos do sistema, suas dimensões, portanto, devem ser consideradas pelo projetista. Além disso, a altura também tem sua influência na circulação de ar do sistema [29]. É importante também, prever um sistema de limpeza da caixa de ar, principalmente se a mesma for ventilada [33].

Destaca-se também, os fatores externos que devem ser analisados para a realização do dimensionamento de uma parede de trombe, como o clima, latitude, orientação, entre outros [33].

2.4.2. Estufa Anexa

A estufa anexa se trata de uma área incorporada ao edifício que é composta, em sua maioria, por envidraçados que tem como função absorver os raios solares criando, internamente, um efeito de estufa. Este efeito ocorre devido a radiação proveniente do sol ser transmitida em todos os comprimentos de onda, cuja maior parte atravessa os envidraçados por estar dentro da faixa de luz visível. Parte desta energia é absorvida pelos materiais que compõe as outras envoltentes, como as paredes, os aquecendo. Por fim, estes materiais liberam radiação infravermelha que, por possuir um grande comprimento de onda, não consegue ultrapassar os envidraçados, causando o aumento da temperatura do ambiente. Esta energia conseqüentemente passará para o cômodo adjacente o aquecendo, como visto na Figura 9 [2], [6].

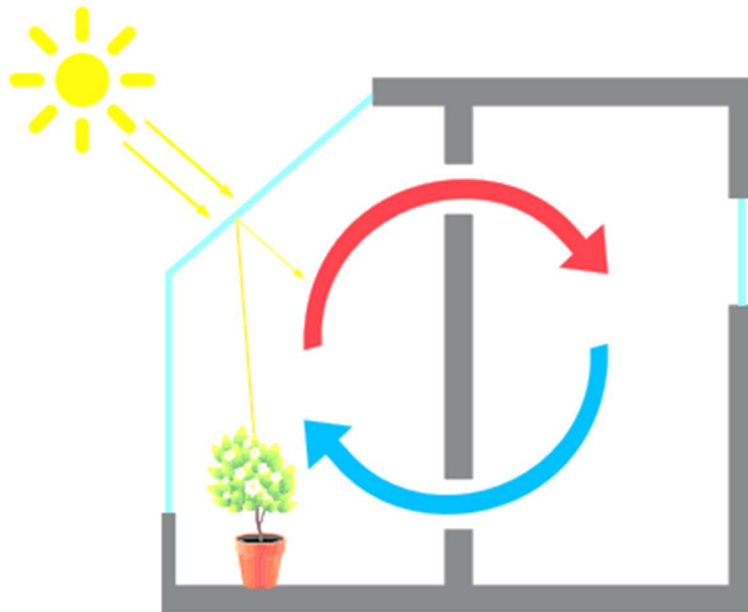


Figura 9 – Funcionamento de uma estufa anexa [6]

As estufas são um dos elementos passivos mais comumente utilizados por gerarem ganhos energéticos significativos e serem de fácil concepção, tanto em novas construções, quanto em reabilitações. É possível, em reabilitações, a construção de uma nova área para a estufa, sem precisar de grandes intervenções. Outra abordagem, quando não se dispõe do espaço necessário para uma nova área, é a utilização de sacadas, que facilmente podem se tornar uma estufa no edifício [35]. Na Figura 10, vemos um exemplo de uma estufa anexa:



Figura 10 – Exemplo de uma estufa anexa [36]

Dentre os principais conceitos e princípios que devem ser considerados durante a idealização de uma estufa anexa, situada na região norte de Portugal, local dos edifícios estudados por este trabalho, pode-se citar:

- Fachada orientada para o Sul ou com variações de até 30° com esta para manter um aproveitamento superior a 90%;
- Utilização de uma envolvente de grande inércia térmica entre a estufa e a área adjacente, preferencialmente pintada com cores escuras, o que facilita a absorção de energia térmica pela mesma;
- Ponderar uma possível inclinação do envidraçado, o que otimiza os ganhos solares, mas tendo em mente, que tal escolha implica em maiores dificuldades para instalação, manutenção e limpeza, além de torna-se relevante sua resistência a intempéries;
- Escolha de vidros e caixilharias corretas para evitar-se perdas energéticas, assim como para contribuir com o isolamento acústico do local.
- A espessura do vidro, por se tratar de um material frágil, deve ser, no mínimo, condizente com as dimensões do mesmo;
- Idealizar dispositivos de oclusão noturna pelo exterior para evitar perdas térmicas no período noturno ou situações de sobreaquecimento durante o verão;
- Considerar possíveis sombreamentos causados por edifícios próximos ou outras obstruções existentes no local;
- De maneira inteligente, projetar ventilação controlada para evitar condensações, sem ignorar a transmissão de calor por convecção que ocorrerá nas aberturas;
- Tratando-se de uma solução passiva que visa diminuir a necessidade de gastos energéticos do edifício provenientes de fontes não renováveis, e consequentemente os impactos causados pelo sítio edificado no meio ambiente, é relevante utilizar materiais que condizem com esta abordagem, visando também a possível reutilização dos materiais do sistema após a sua desmontagem [2].

2.4.3. Cobertura Captadora

Comumente utilizada na construção civil, a cobertura inclinada, além de proteger o edifício contra as intempéries como chuva, ventos e neve, é um dos elementos do edificado que mais recebe energia solar durante o dia. Possui, portanto, um potencial considerável de fornecimento de ganhos energéticos ao edificado [6].

Na região norte de Portugal e na Espanha, como podemos ver na Figura 11, encontram-se diversas construções antigas que, para otimizar estes ganhos, possuem sua cobertura de duas águas assimétrica, com o lado mais extenso voltado para o Sul e a menor para o Norte ou, quando a cobertura possui apenas uma inclinação, voltada para o Sul. A área da envolvente orientada a Norte, por ser menor nas coberturas de duas águas, minimiza as perdas energéticas e atenua o efeito do vento [6].



Figura 11 – Exemplos de cobertura captadora localizadas na região transfronteiriça entre o norte de Portugal e a Espanha [37]

Adaptando esta técnica antiga, os projetos atuais devem buscar combinar estas soluções com a modernidade dos materiais isolantes. Por ser a envolvente que mais recebe raios solares, a cobertura é conseqüentemente a que, principalmente durante as épocas de altas temperaturas, a que possui uma temperatura superficial mais elevada. Esta alta temperatura causa um elevado fluxo de calor descendente, ou seja, do exterior para o interior do edifício, o que é afetado quando a envolvente possui um material isolante, diminuindo os ganhos. Durante as épocas de baixa temperatura, como a temperatura interna do edifício é mais elevada que a externa, o fluxo de calor tem sentido ascendente, ou seja, do lado interno para o lado externo, fenômeno também diminuído pelo material isolante [6].

Sua correta orientação e inclinação ainda oferece os meios adequados para a otimização do espaço através de captadores solares e fotovoltaicos na sua superfície. Eliminando o risco de sombreamento por ser a envolvente exterior de um edifício mais

exposta, este sistema se adapta a construção tanto a nível construtivo como arquitetônico e contribui na produção de energia sustentável [6].

2.4.4. Paredes Verdes

Este sistema possui variados tipos de formulação, cada um com suas particulares vantagens e desvantagens. O muro vivo, uma das categorias das paredes verdes e a mais tecnológica atualmente, é um sistema modular que, com pouco substrato, exclui a necessidade do contato direto das plantas com o solo. Por ter um volume limitado de substrato sua irrigação deve ser controlada para que possa suprir de maneira adequada a água e os nutrientes que as plantas necessitam [38].

As paredes verdes, além das características arquitetônicas que trazem ao edifício, oferecendo traços interessantes de modernidade e paisagismo, proporcionam também melhorias no desempenho térmico e acústico das fachadas, apresentando uma redução da temperatura superficial [39].

Mais que o desempenho térmico, a parede verde também traz benefícios como o aumento da biodiversidade, melhoria do microclima dos centros urbanos, proteção contra a radiação solar, melhoria no isolamento acústico, sentimento de bem-estar nos utilizadores do edifício e, como consequência, maior durabilidade da construção [6]. A Figura 12 mostra um exemplo de parede verde utilizada em um edifício.



Figura 12 – Edifício em Camden Town, Londres

2.4.5. Espaço de Transição Orientado

Elemento encontrado nas mais antigas tipologias arquitetônicas, o espaço de transição consiste na área adjacente a envoltente exterior do edifício que serve para passagem gradual entre o ambiente interior e exterior. Ela pode ser encontrada no nível térreo ou no nível superior, na forma de varanda [6], [40]. A Figura 13 mostra alguns exemplos.



Figura 13 – Exemplos de espaços de transição orientado [37]

Além dos aspectos arquitetônicos que estas áreas trazem ao edificado, quando corretamente orientadas e dimensionadas, trazem também benefícios térmicos, auxiliando na diminuição das variações térmicas. Para que isto ocorra, é necessário ter conhecimento sobre o percurso do sol da região na qual o edifício será construído, informação obtida através do estudo solar da região. Como o principal objetivo no inverno é de otimizar os ganhos solares, este elemento deve ser dimensionado de maneira a não impedir a exposição direta das envoltentes e, principalmente, dos envidraçados a radiação solar. Já no verão, como deve-se evitar os ganhos solares, este elemento deve existir de maneira a proporcionar sombreamento nas envoltentes e envidraçados [6]. A Figura 14 mostra o correto funcionamento que esta solução deve proporcionar.

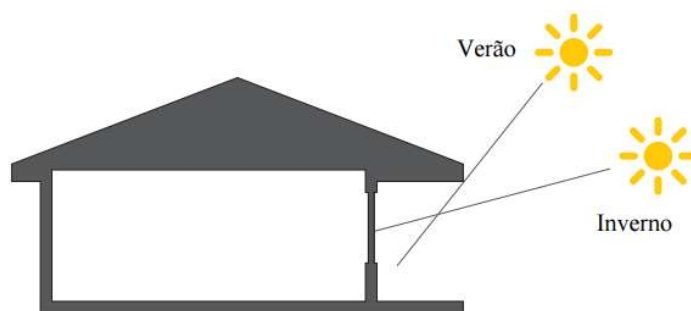


Figura 14 – Correto funcionamento do sombreamento de um espaço de transição orientado [6]

Este sistema, a fim de garantir máximo desempenho, deve ser preferencialmente orientado para sul e também pode-se utilizar elementos de sombreamento como persianas na parte exterior para evitar o superaquecimento. Também é possível como opção de sombreamento a utilização de vegetação caduca pelas suas características de perder suas folhas durante as épocas de inverno, garantindo o correto funcionamento. Estas áreas, se desejo do projetista, em obras de reabilitações, podem facilmente serem transformadas em estufas para otimizar os ganhos energéticos [6].

Facilmente idealizada na etapa de projeto, este espaço além dos benefícios térmicos, proporciona aos utilizadores uma área de convivência agradável que pode servir para diversos propósitos [6].

2.4.6. Climatização Geotérmica

Abrigos subterrâneos foram um dos primeiros refúgios utilizados pelo ser humano nos primórdios da civilização. Além de oferecer proteção contra as intempéries, estes abrigos usufruem da característica do solo de não sofrer variações térmicas. Por ser um grande armazenador de energia, esta diariamente repostada pelo sol, o solo, mesmo em suas camadas mais superficiais, mantém uma temperatura constante ao longo do ano, se tornando mais elevada de acordo com a profundidade. Esta característica é perceptível ao adentrar em uma estrutura subterrânea onde é possível perceber que ela, durante o inverno, apresenta um uma temperatura mais amena e durante o verão uma temperatura mais fresca [6].

Na região transfronteiriça do norte de Portugal, influenciada pela produção de vinho, estruturas semienterradas são comumente encontradas em espaços que servem para a conservação de vinhos e comidas, justamente pelo controle térmico encontrado

nestas estruturas. A Figura 15 é um exemplo de um depósito de vinho em uma estrutura semienterrada [6].



Figura 15 – Depósito de vinho em uma estrutura semienterrada [6]

Esta solução pode ser utilizada através da adaptação da construção as características do terreno em que a obra será executada. É possível utilizar o desnível de um terreno para a concepção desta estratégia [37].

2.4.7. Cobertura Verde

A cobertura verde é um sistema construtivo que, assim como a parede verde, tem com princípio básico a camada de vegetação revestindo a envolvente, podendo ela ser uma cobertura plana ou inclinada. Define desta maneira um espaço verde construído no topo de uma estrutura não natural. Este sistema não se trata de uma solução recentemente inventada, mas sim uma solução construtiva encontrada em construções antigas espalhadas em diversos países. A construção mostrada na Figura 16 se trata de uma estrutura localizada na Espanha e mostra como este sistema construtivo é antigo [6], [41].



Figura 16 – Construção antiga localizada na Espanha com uma cobertura verde [6]

A cobertura verde, de acordo com sua tipologia, é separada basicamente em dois tipos: extensivas e intensivas. A extensiva tem características de um baixo custo de instalação e manutenção e também um menor peso final na cobertura. Já a intensiva possui características contrárias, tendo um alto custo de instalação e manutenção e um peso final sobre a cobertura elevado. Ambas podem ser acessíveis ou inacessíveis ao público, porém na maioria dos casos as coberturas extensivas tendem a ser inacessíveis [6], [41].

Na cobertura verde do tipo extensiva é comum o uso de espécies de vegetação rústicas e rasteiras, não necessitando de manutenção constante, exigindo maiores cuidados apenas nas épocas de seca. Apresenta espessura inferior a 20 cm e pode ser aplicado em coberturas com inclinação de até 45°, desde que seja previsto uma malha estrutural para evitar o deslizamento do solo [42].

Sua estrutura é composta por seis camadas:

- 1) Vegetação (camada exterior);
- 2) Substrato para cobertura extensível;
- 3) Camada filtrante;
- 4) Camada drenante e capilaridade;
- 5) Camada de proteção e armazenamento;
- 6) Pavimento com isolamento e impermeabilização (camada interior) [6].

A cobertura verde do tipo intensiva diferencia-se por ser idealizada para espécies de grande porte e, conseqüentemente, apresentar uma camada de substrato

consideravelmente superior a cobertura verde extensiva, podendo chegar até 1,20 metros. Por possuir um peso elevado, a estrutura que irá recebe-la deverá ser mais robusta, de maneira que suporte os esforços aplicados. Pelo mesmo motivo, este modelo deve ser executado sobre estruturas horizontais devido ao alto risco de deslizamento em estruturas inclinadas. Na maioria das vezes são áreas de convivência abertas ao público. Sua divisão de camadas é igual a cobertura verde extensiva [6], [42].

Este sistema oferece diversos benefícios privados e públicos. Além do aspecto visual, pode-se citar:

- Aumento da vida útil da cobertura;
- Isolamento térmico e acústico;
- Aumento do valor da propriedade;
- Aumento da eficiência energética;
- Proteção contra a radiação solar;
- Melhoria da qualidade do ar;
- Aumento da biodiversidade [6], [41].

2.4.8. Arrefecimento Evaporativo

Solução passiva utilizada para o arrefecimento dos edifícios, esta estratégia utiliza a mudança de fase da água do estado líquido para o estado de vapor para a diminuição da temperatura do ar que entra no edifício. Quando este resfriamento do ar vem acompanhado do aumento de vapor de água, denomina-se resfriamento evaporativo direto. Caso a evaporação ocorra em superfícies externas, sem o aumento do vapor de água no ar, é chamado de resfriamento evaporativo indireto [8].

A utilização de áreas com água adjacentes ao edifício, como na Figura 17, exemplifica um arrefecimento evaporativo direto. Estas áreas podem ter funções arquitetônicas no edifício, como espelhos d'água ou pequenos lagos artificiais, ou servirem como piscinas [8].

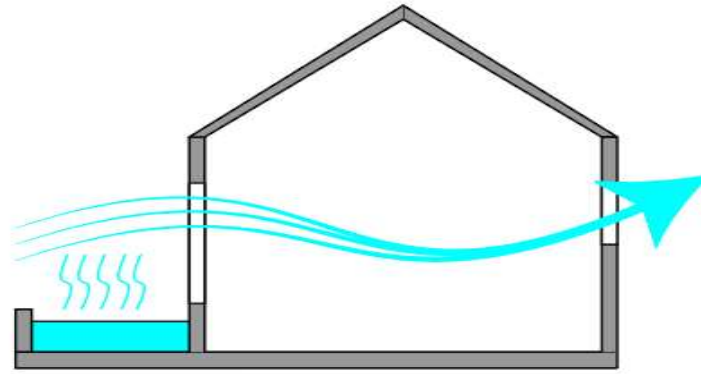


Figura 17 – Funcionamento do arrefecimento evaporativo direto (adaptado de [8])

O arrefecimento evaporativo indireto ocorre através da evaporação originada da vegetação existente em torno do edifício ou até mesmo pela vegetação existente em sistemas de parede ou cobertura verde. A Figura 18 ilustra um exemplo deste fenômeno [6].

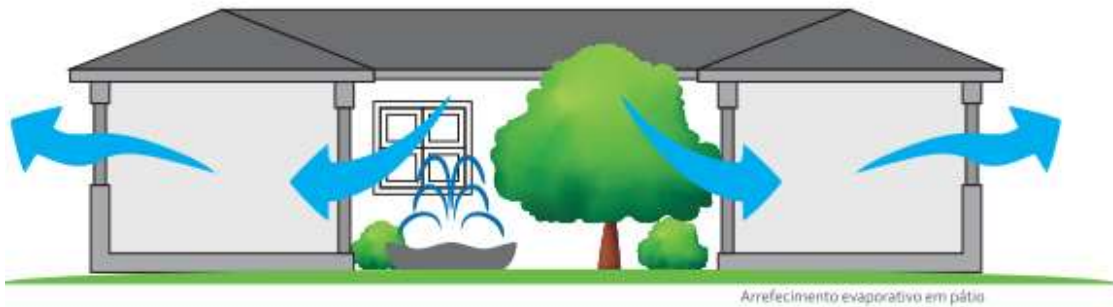


Figura 18 – Funcionamento de um arrefecimento evaporativo indireto [6]

Durante as épocas de alta temperatura, a evaporação que se origina da vegetação e da água reduz as temperaturas criando uma zona de alta pressões na área o que causa a sucção do ar existente nos níveis superiores que infiltram no edifício através das aberturas existentes. Já no inverno, a temperatura na área com vegetação é superior à exterior. Alguns dos fatores que influenciam no desempenho desta solução é a área da água ou da vegetação existente em volta do edificado e o sentido e intensidade do vento [6].

2.5. DESIGNBUILDER E ENERGYPLUS

O programa *EnergyPlus* é uma ferramenta computacional criada e distribuída gratuitamente pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e uma das mais utilizadas para análise energética de edifícios no mundo, pelos fiáveis resultados que apresenta. Criado a partir dos programas *BLAST* (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e *DOE-2*, ele herdou diversas características e simulações dos seus progenitores corrigindo alguns sérios problemas sequenciais de suas simulações [43]–[45].

Suas simulações termoenergéticas oferecem uma interação completa entre os componentes do edifício e considerações detalhadas para avaliação do desempenho energético. Sendo assim, disponibiliza uma vasta gama de condições ajustáveis de dados de inserção fornecendo resultados finais precisos [44].

Esta ferramenta de simulação dinâmica realiza cálculos de aquecimento, arrefecimento, luminosidade, ventilação e diversos outros cálculos relacionados com fluxo de energia [45].

O cálculo térmico do edifício se dá através dos princípios do balanço energético, utilizando a seguinte equação:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{s1}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p^{air} (T_{zi} - T_z) + m_{inf} C_p^{air} (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad [44]$$

Onde:

$$C_z = \rho_{air} C_p^{air} C_T;$$

$$\rho_{air} : \text{Massa volumétrica do ar} \left[\frac{kg}{m^3} \right];$$

$$C_p^{air} : \text{Calor específico do ar da zona} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right];$$

$$C_T : \text{Fator de ponderação da transferência de calor sensível} \left[\frac{K}{m^3} \right];$$

$$C_z \frac{dT_z}{dt} : \text{Energia total armazenada no ar interior da zona};$$

$$\sum_{i=1}^{N_{s1}} \dot{Q}_i : \text{Soma dos ganhos internos por convecção} [W];$$

$$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z): \text{Transferência de calor por convecção originária das superfícies}$$

existentes na zona

$$\sum_{i=1}^{N_{zones}} m_i C_p^{air} (T_{zi} - T_z): \text{Transferência de calor devido à infiltração de ar exterior [W];}$$

\dot{Q}_{sys} : Taxa de troca de calor entre o ar interior da zona e o sistema de climatização [W];

T_z : Temperatura da zona [K];

T_{zi} : Temperatura das zonas vizinhas [K];

T_{∞} : Temperatura do ar infiltrado [K];

T_{si} : Temperatura das superfícies existentes na zona [K];

h_i : Coeficiente de troca de calor $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$;

A_i : Área superficial [m^2].

Analisando a equação acima descrita é possível entender mais claramente a forma na qual o *software* opera. Todas formas de perda ou ganho energético são consideradas na determinação da temperatura de cada zona individualmente, levando em consideração o estado das zonas adjacentes. E ainda, por se realizar um cálculo iterativo, e não sequencial como os seus progenitores, através da troca de dados entre as partes constituintes, realiza um cálculo preciso da eficiência térmica do edifício [44], [46].

Faz-se imprescindível compreender a função de ferramenta que o *EnergyPlus* desempenha na composição de uma base dados a outros *softwares*. Este mecanismo não almeja ser uma interface primária, e sim uma ferramenta de simulação na qual trabalha em conjunto com uma outra ferramenta de inserção de dados. Além disso, não realiza a validação de dados ou aceitabilidade de diversos parâmetros, nem realiza a tentativa de interpretação dos mesmos. Esta ferramenta opera em um sistema padrão de “*garbage in, garbage out*”, ou seja, funciona através de um processo lógico através dos dados inseridos, indiferentemente se estes dados são coerentes ou incoerentes, e quando incoerentes mostra resultados igualmente errôneos [47]. A Figura 19 ilustra a lógica seguida por este *software*.

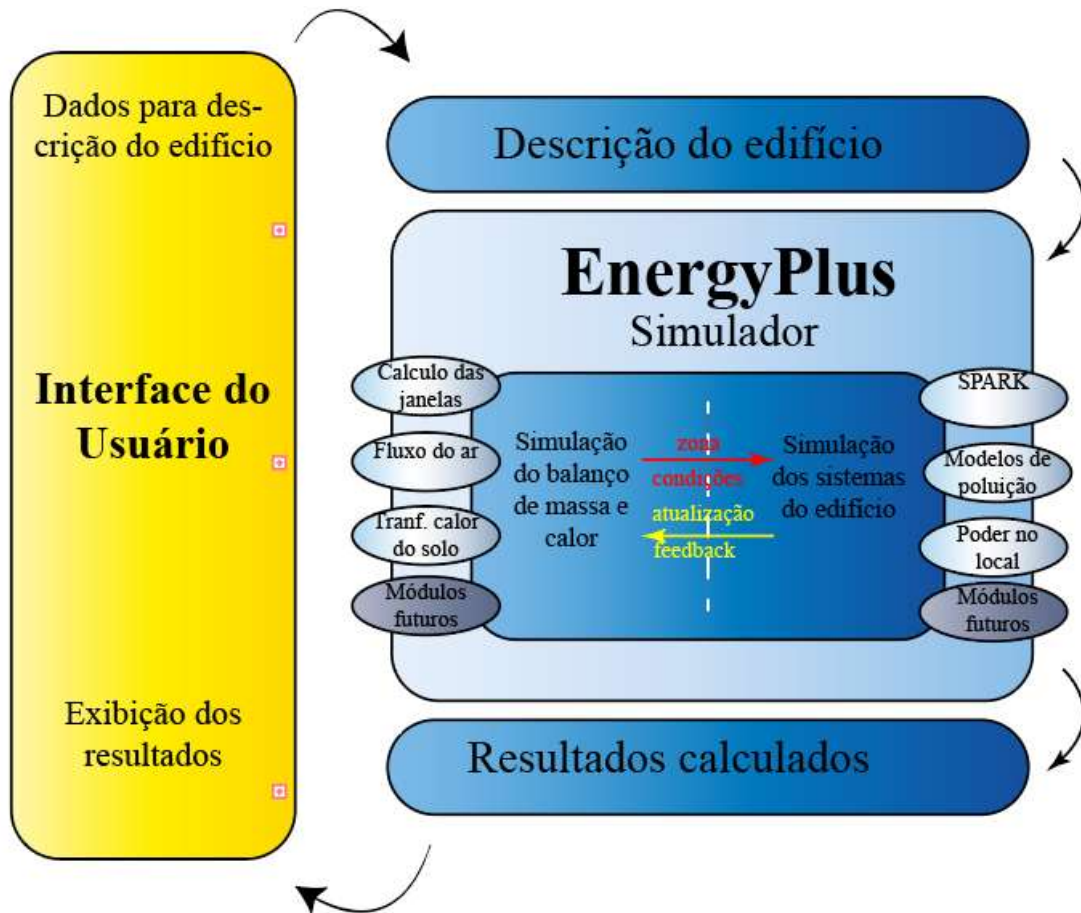


Figura 19 – Fluxograma explicativo do funcionamento do *software EnergyPlus* (adaptado de [47])

É então nesta *interface* do usuário que o *DesignBuilder* exerce sua função. O *software* é uma interface gráfica do utilizador que permite a modelação de edifícios e a simulação do seu desempenho energético através das rotinas do *EnergyPlus*. Esta ferramenta é comumente utilizada para o cálculo do consumo energético de edifícios, avaliação das opções de fachadas para superaquecimento, simulação térmica da ventilação natural, avaliação de luminosidade e sombreamento, cálculo de equipamentos de aquecimento e resfriamento [46].

Com uma *interface* intuitiva e a sua vasta biblioteca de elementos, este *software* permite a modelação de diversos tipos de edifícios e possui um sistema de controle de processos que assegura a precisão dos resultados. Estes, são apresentados de maneira clara e direta, facilitando a análise pelo operador competente [45].

Seu processo de modelação respeita uma hierarquia de inserção de dados que deve ser seguida pelo operador, sendo ele realizado na seguinte sequência: inserção do sítio do edificado, então o edifício em si, a inserção de blocos, a definição das zonas,

superfície das envolventes e, por fim, as aberturas existentes, como mostrado na Figura 20 [46].

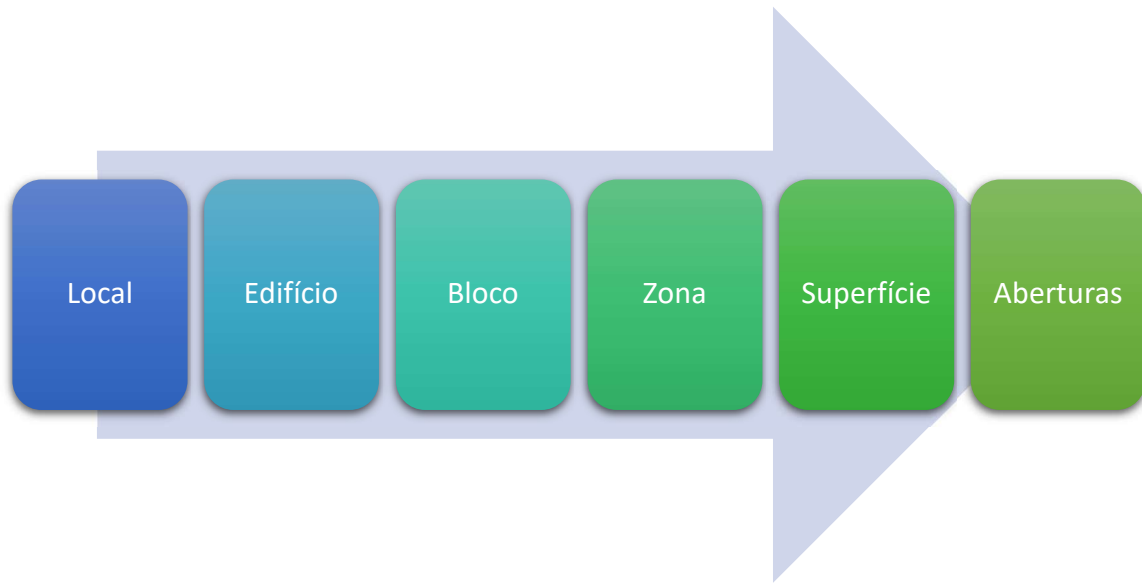


Figura 20 – Fluxograma de inserção de dados no *software DesignBuilder* (adaptado de [46])

O *software*, após realizar as rotinas de validação, apresenta resultados como os ganhos energéticos internos, temperatura interna, externa e das envolventes, humidade relativa do ar, taxa de ventilação natural, consumo energético do sistema de climatização e iluminação, entre outros. Todos estes podendo ser a nível de edifício, bloco ou zona e em um intervalo de tempo anual, mensal, diário, horário ou sub-horário.

CAPÍTULO 3.

Descrição dos
projetos e
metodologia das
análises

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para o desenvolvimento do seguinte trabalho realizou-se simulações no programa *DesignBuilder*, versão 5.4.0.021, que utiliza a versão 8.6 do *EnergyPlus*, para que fosse possível, com os resultados, analisar o comportamento térmico e energético que os edifícios estudados possuíam antes da reabilitação e posteriormente. Assim buscou-se o estudo do quanto cada sistema passivo adotado traz de contribuição para o conforto térmico e balanço energético do edifício.

Resumidamente, a princípio foram moldadas as edificações da maneira em que foram construídas originalmente, antes de se degradarem ou sofrerem outras intervenções. Então, desta maneira, obtiveram-se os resultados referentes a concepção original. Posteriormente simulou-se o comportamento no qual os edifícios terão após concluídas as obras de intervenções que serão realizadas.

Em paralelo com esta análise, juntamente com outros profissionais envolvidos, foram realizadas verificações orçamentárias e de projeto com o objetivo de apontar possíveis erros, omissões e incompatibilidades existentes.

3.2. PROJETOS ORIGINAIS DOS EDIFÍCIOS ESTUDADOS

3.2.1. Escola Primária de Cova da Lua

O edifício está localizado na freguesia de Cova da Lua, no concelho de Bragança, situada a 14 km da cidade de Bragança. Esta edificação está inserida na área denominada Parque Natural de Montesinho, área de proteção florestal de 74230 hectares de extensão. Sua construção data do início da década de setenta e foi construída para desempenhar a função de uma escola primária, o qual o fez até data desconhecida, sendo então abandonada. Atualmente está em posse do Município de Bragança e encontra-se deteriorada e sem uso.

Seu sítio edificado, em relação ao Plano Diretor Municipal de Bragança (PDM), encontra-se na área classificada como Espaços Urbanizados do Tipo VI. Tal classificação traz as seguintes delimitações construtivas:

- Índice máximo de ocupação – 30%;

Suas paredes de vedação externa são paredes de alvenaria de tijolo dupla com caixa de ar enquanto as internas são paredes simples, também em alvenaria de tijolo. Nas áreas sobre os vãos envidraçados, a estrutura é em betão simples. Sua caixilharia é em alumínio sem corte térmico e com vidro simples.

Na sala de aula o soalho é em ripas de madeiras e no restante do edifício em mosaico hidráulico. A Figura 22 mostra como a fachada externa se encontra atualmente. A fachada principal, a que contem os envidraçados, é orientada para oeste.



Figura 22 – Fotos da Escola Primária de Cova da Lua

A planta baixa e desenho das fachadas encontram-se no Anexo I.

3.2.2. Escola Primária de Rio de Onor

O edifício localiza-se na aldeia de Rio de Onor na região de Trás-os-Montes, no conselho de Bragança. Está inserida na área denominada de Parque Natural de Montesinho. Sua construção data de 1963 e foi realizada através do chamado Plano dos Centenários.

Serviu como escola primária desde o ano de construção até data desconhecida, a qual perdeu sua função e deixou de receber manutenções. Atualmente encontra-se em posse do Município de Bragança e está abandonado e sem uso.

Esta escola, assim como o edifício anterior, também se encontra classificada como Espaço Urbanizado do Tipo V, de acordo com o Plano Diretor Municipal de Bragança. Desta maneira, possui os mesmos limites construtivos do edifício anteriormente descrito.

Seu projeto original, como mostrado na Figura 23, prevê uma característica da sua época de construção que é a divisão entre as crianças do sexo masculino e feminino. Sendo assim, idealiza duas salas de aula e a separação dos dois átrios.

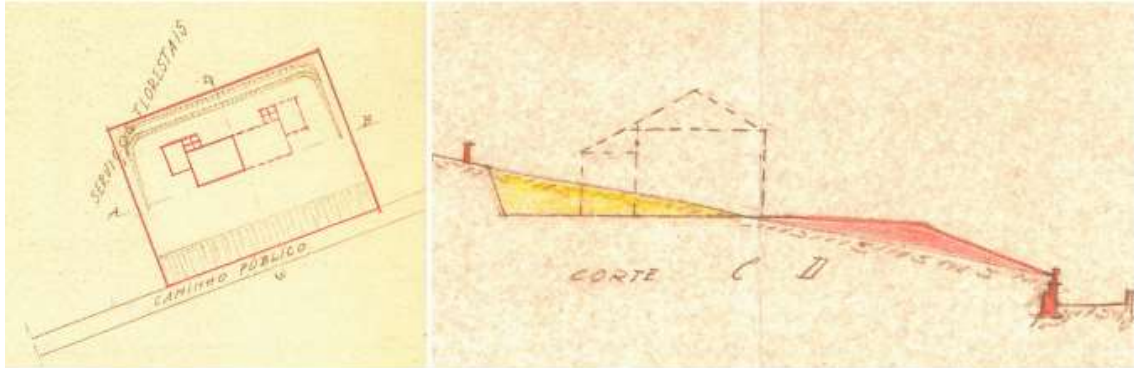


Figura 23 – Projeto original da Escola Primária de Rio de Onor [49]

Todavia, o que foi construído não corresponde ao projeto, havendo apenas uma sala de aula, um recreio aberto e as instalações sanitárias. Sendo o espaço de maior área, construída para servir como a sala de aula, orientado a Sul.

Seguindo o mesmo objetivo da inspeção realizada na Escola Primária de Cova da Lua, foi também realizado um relatório de inspeção da Escola Primária de Rio de Onor. Através dele, verifica-se que a estrutura do edifício estudado foi construída em alvenaria de pedra. Os elementos de soalho e coberturas são em madeira.

As suas envolventes, como percebe-se na Figura 24, são construídas em pedras retangulares de granito com cerca de 30 cm de largura assentes com argamassa, estas desempenhando função estrutural no edifício. As zonas secundárias são construídas em alvenaria de tijolo rebocadas e pintadas. O reboco das paredes é de base cimentícia possuindo cerca de 2 a 3 cm de espessura estando presente em toda a envolvente, com exceção da área interior no local em que estava previsto um sistema de aquecimento, que apresenta nunca ter existido, e de uma área na entrada do edifício na parte exterior. As caixilharias presentes nos vãos envidraçados são em madeira com vidro simples e possuem dispositivos de proteção interna, apesar de no momento estarem extremamente danificadas.

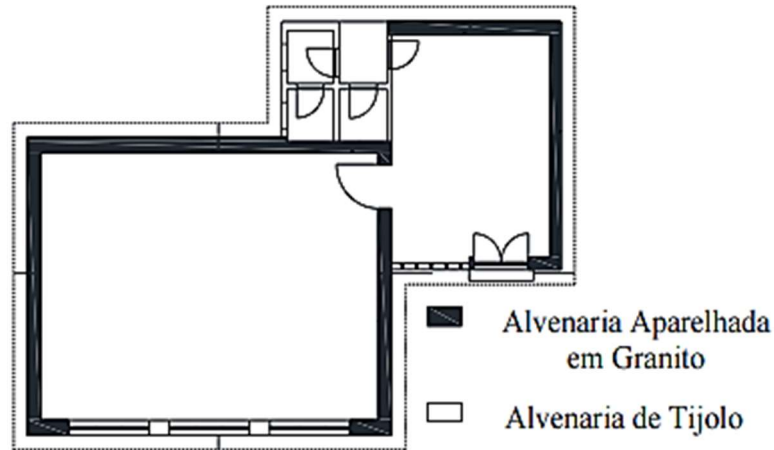


Figura 24 – Planta baixa da Escola Primária de Rio de Onor com especificações das paredes [49]

Notou-se, durante a inspeção, que em algumas áreas pontuais das envolventes existe a presença de elementos em xisto e tijolo. Devido a falta de materiais durante o processo construtivo, provavelmente optou-se pela utilização de materiais abundantes na região, como é o caso do xisto e do tijolo. Para a realização deste trabalho, desconsiderou-se tais singularidades nas paredes, devido à incerteza da localização destes já que não foi possível encontrar um padrão construtivo na utilização de tais materiais, provavelmente inexistente.

O telhado é de duas águas completada com telhas cerâmicas de barro vermelho do tipo aba e canudo. As duas asnas principais da estrutura são em madeira. O forro existente é constituído por chapas quadrangulares de fibrocimento com lados de 70 cm.

Já o pavimento é, na área destinada para a sala de aula, em soalho de madeira assentado sobre ripas de madeira, estas assentadas sobre a fundação. Esta disposição forma uma caixa de ar que possibilita a ventilação através de aberturas para o exterior existentes ao nível do solo na fachada.

Os desenhos da planta baixa e das fachadas encontram-se em Anexo II. A Figura 25 mostra o atual estado da escola. A fachada principal, a que contem os envidraçados, é orientada para o sul.



Figura 25 – Fotos da Escola Primária de Rio de Onor

3.3. APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS DE REABILITAÇÃO PARA AS COMUNIDADES

No dia 15 de dezembro de 2018, junto com alguns dos profissionais envolvidos nos projetos de reabilitação das duas escolas primárias, realizou-se a apresentação dos projetos para as comunidades. Ambas apresentações seguiram a mesma didática.

Inicialmente foi apresentado uma breve introdução sobre gastos energéticos de uma construção e sobre as instituições envolvidas nas etapas que levaram as obras de reabilitação. Realizou-se uma conscientização da comunidade sobre os gastos energéticos de um edifício e de que maneira isto afeta diretamente o conforto dos usuários e o custo mensal com energia.

Abordou-se os temas que serviram como base para a idealização dos projetos, como a preservação do patrimônio construtivo e cultural da região e a abordagem de uma arquitetura bioconstrutiva, apontando temas importantes como a relevância da capacidade de um edifício de reter energia no conforto térmico e consumo energético.

Posteriormente, o profissional responsável pelos projetos apresentou as principais características de cada um deles. Na escola primária de Rio de Onor, afim de se manter o patrimônio visual da construção, o layout será mantido, optando por não realizar grandes mudanças nas fachadas para não comprometer o legado cultural do edifício. A Figura 26 mostra a apresentação do projeto para a comunidade.



Figura 26 – Apresentação do projeto de reabilitação da Escola Primária de Rio de Onor para a comunidade

A principal estratégia será a utilização de envidraçados em uma das fachadas afim de alavancar os ganhos energéticos e a utilização de isolantes e materiais bioconstrutivos, como reboco natural e aglomerado de cortiça nas envolventes.

Na escola primária de Cova da Lua será realizado uma intervenção mais drástica e, conseqüentemente, sem a limitação da obrigatoriedade de se manter a aparência da fachada, por se tratar de uma construção mais recente, serão utilizados diferentes tipos de soluções passivas que acompanharão o aumento da área construída da escola. A Figura 27 mostra a apresentação do projeto para a comunidade.



Figura 27 – Apresentação do projeto de reabilitação da Escola Primária de Cova da Lua para a comunidade

Assim como em Rio de Onor, o projeto de reabilitação da Escola Primária de Cova da Lua traz a utilização de materiais bioconstrutivos em suas envolventes e ainda prevê soluções bioclimáticas como a parede verde em duas envolventes e a parede trombe ventilada em parte de uma das suas envolventes.

3.4. PROJETOS DE REABILITAÇÃO

3.4.1. Escola Primária de Cova da Lua

O projeto de reabilitação da Escola Primária de Cova da Lua virá acompanhada de uma mudança de layout, como pode se notar na Figura 28, com o aumento de área construída para atender a demanda dos seus usuários. A antiga escola passará a ser um espaço que servirá à comunidade.



Figura 28 – Projeto de reabilitação da Escola Primária de Cova da Lua [50]

Todos os revestimentos, mesmo das envolventes que não serão completamente substituídas, serão trocados por materiais que possuem alto desempenho térmico, como aglomerado de cortiça natural, poliestireno expandido (EPS) e tijolo térmico, este último nas paredes que serão construídas, sendo mantido os tijolos das paredes que não serão completamente alteradas. Será utilizado, na sua maioria, isolamento pelo exterior.

Na fachada sul está previsto maioritariamente envidraçados e em uma pequena parte, uma parede trombe.

Está previsto a construção em duas partes das fachadas com paredes verdes, a leste e oeste, nas quais serão utilizadas vegetação caduca que possui a característica de perder suas folhas durante a época de inverno. Vale ressaltar que esta característica não é reproduzida pelo *software*.

Os vãos envidraçados serão substituídos por caixilharia de alumínio com vidro duplo laminado, com perfis providos de ruptura de ponte térmica. A proteção solar será pelo interior com cortina opaca de cor clara.

O isolamento no pavimento será feito através do sistema Lambourdé e na cobertura por aglomerado de cortiça.

Esta previsto também a instalação de uma salamandra mista a biomassa e lenha, onde atinge uma potência e rendimento máximo de, respectivamente, 9,5 kW e 95% quando utilizado pallet e de 15 kW e 84% quando utilizado lenha. Será também instalado um ar condicionado com capacidade para refrigeração e aquecimento de 23202/6,8 BTU/kW e 14330/4,2 BTU/kW, respectivamente. E por fim, um termoacumulador híbrido para aquecimento de águas.

Os projetos com os pormenores e especificações encontram-se em Anexo III.

3.4.2. Escola Primária de Rio de Onor

Este projeto, pelo valor histórico da edificação, partiu da premissa da manutenção da fachada original, o que limitou certas escolhas construtivas. A modernidade vem principalmente através dos materiais escolhidos. O edifício após a reabilitação passará a ser um espaço que servirá para a comunidade.



Figura 29 – Projeto de reabilitação da Escola Primária de Rio de Onor [50]

A entrada será mudada para a fachada norte, lado oposto aos vãos envidraçados da Figura 29, e na antiga entrada será posto envidraçados para otimizar os ganhos térmicos sem causar grande impacto na arquitetura da fachada.

As paredes da antiga sala de aula terão uma espessura total de 40 cm mantendo o granito e utilizando reboco térmico ecológico e aglomerado de cortiça expandido na sua composição, sendo as principais componentes para melhoria do desempenho térmico e acústico. O isolamento será aplicado pelo interior.

Na cobertura será utilizado uma camada de aglomerado de cortiça assim como no pavimento, este último no sistema Lambourdé.

Para os vãos envidraçados, a caixilharia se manterá de madeira, porém com vidro duplo. Este será de baixa emissividade, sendo de vidro temperado de 8mm pelo exterior, com caixa de ar de 16mm e vidro laminado pelo interior. A proteção solar será pelo interior com tela opaca de cor clara.

Será instalado uma salamandra a lenha de 80% de rendimento e 5,5 kW de potência e um ar condicionado que possui 5 kW de potência para arrefecimento e 5,4 kW para aquecimento.

Os projetos com os pormenores encontram-se no Anexo IV.

3.5. METODOLOGIA DAS ANÁLISES

3.5.1. Escola Primária de Cova da Lua

Para o estudo da Escola Primária de Cova da Lua as análises foram divididas em duas épocas, do mês de outubro ao mês de março, época de aquecimento, e do mês de abril até o mês de setembro, época de arrefecimento. As taxas de ocupação foram definidas pela utilização das áreas, opção determinada pelos parâmetros do *software DesignBuilder*. Foi considerado um calendário de utilização do edifício de segunda a sábado, das 8:00h às 18:00h. O foco das análises deu-se na principal área do edifício, correspondente a sala de aula no edifício original e na sala de convívio no edifício reabilitado.

Primeiramente foi moldado o edifício na sua concepção original, como mostrado na Figura 30.

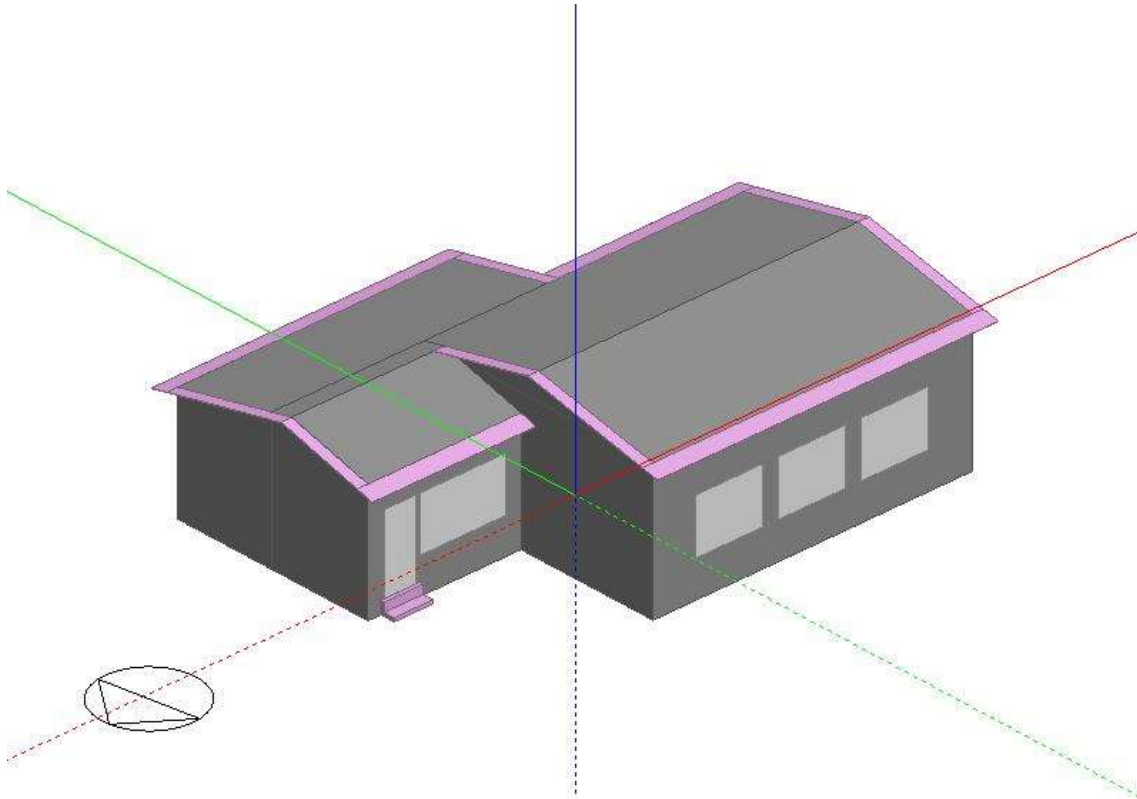


Figura 30 – Modelo do edifício original da Escola Primária de Cova da Lua no *software DesignBuilder*

Em seguida realizou-se no *software*, como mostrado na Figura 31, o modelo do edifício reabilitado. A partir deste modelo foram feitas outras duas modelações, numa delas foi a retirada da parede de inércia do sistema de parede de trombe e a segunda modelação foi a retirada da camada vegetal das duas fachadas, fazendo a alteração para o revestimento mais comumente utilizado no projeto de reabilitação.

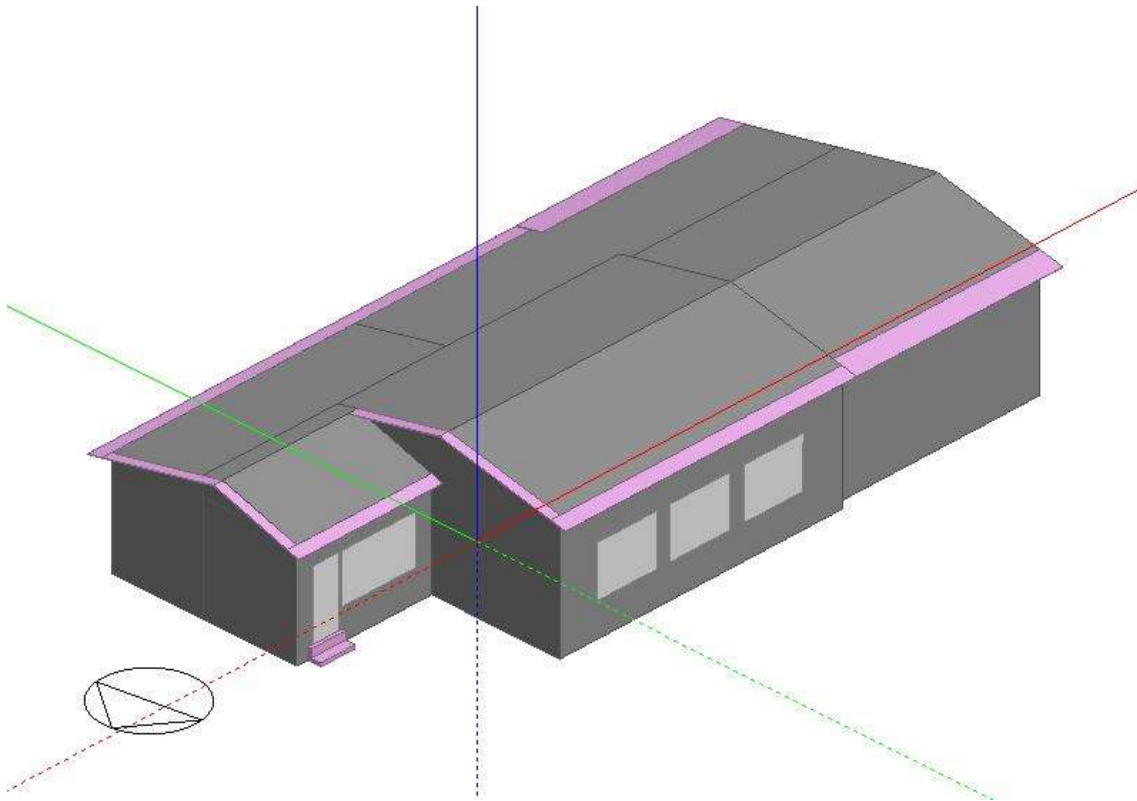


Figura 31 - Modelo do edifício reabilitado da Escola Primária de Cova da Lua no *software DesignBuilder*

Em síntese foram realizados 5 modelos, cada um possuindo as seguintes características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Síntese dos modelos considerados para a análise da Escola Primária de Cova da Lua

	Planta Original	Planta Reabilitada	Isolamento nas envolventes	Parede verde	Parede de trombe	Sistema de climatização
Modelo 1	x	-	-	-	-	-
Modelo 2	x	-	-	-	-	x
Modelo 3	-	x	x	x	x	x
Modelo 4	-	x	x	-	x	x
Modelo 5	-	x	x	x	-	x

Primeiramente foi analisado a temperatura interna do edifício antes e após a reabilitação, tanto para época de arrefecimento quanto para a de aquecimento. Então, para as análises seguintes, considerou-se no modelo original do edifício os mesmos sistemas de climatização, tanto de aquecimento como resfriamento.

Para época de aquecimento analisou-se o balanço energético dos quatro modelos do projeto de reabilitação já descritos e posteriormente uma análise do consumo que o sistema técnico de aquecimento teria durante o período. Em seguida foi realizada a análise do desempenho energético do edifício reabilitado, estudando seu desempenho durante o mês e o dia considerado os mais críticos.

Para a época de arrefecimento, seguindo a mesma metodologia da análise da época de aquecimento, comparando os quatro modelos do projeto de reabilitação, calculou-se o gasto com o sistema técnico de arrefecimento que cada um teria para manter os mesmos padrões térmicos. Então foi realizada a análise do desempenho que o edifício terá após a reabilitação, apresentando os resultados encontrados durante o mês crítico e posteriormente o dia crítico.

3.5.2. Escola Primária de Rio de Onor

Para o estudo da Escola Primária de Rio de Onor, assim como para a Escola Primária de Cova da Lua, as análises foram divididas em duas épocas, do mês de outubro ao mês de março, época de aquecimento, e do mês de abril até o mês de setembro, época de arrefecimento. As taxas de ocupação foram definidas pela utilização das áreas, opção determinada pelos parâmetros do *software*. Considerou-se um calendário de utilização do edifício de segunda a sábado, das 8:00h as 18:00h. O foco das análises deu-se na principal área do edifício, correspondente a sala de aula no edifício original e na sala de convívio no edifício reabilitado.

Moldou-se primeiramente o edifício de acordo com a sua concepção original, como mostrado na Figura 32. Por possuir sua fachada principal orientada para sul, realizou-se também uma simulação onde o edifício estaria orientado para o norte, para estimar a diferença de ganhos solares obtido pelos envidraçados entre os dois modelos.

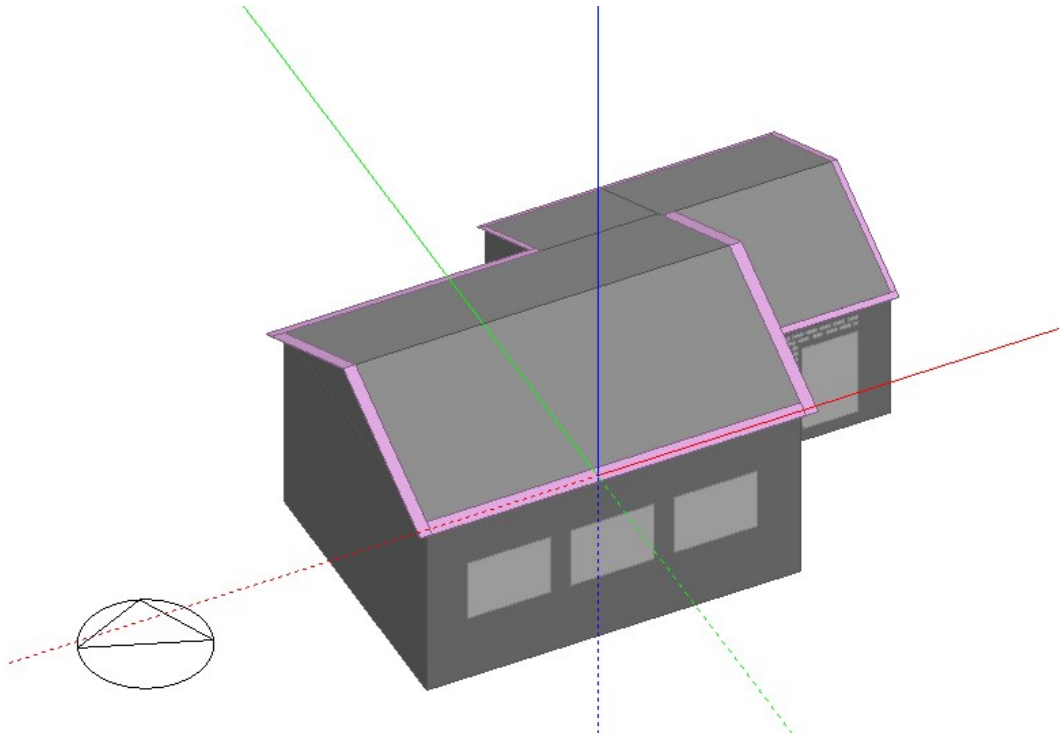


Figura 32 - Modelo do edifício original da Escola Primária de Rio de Onor no *software DesignBuilder*

Em seguida foi moldado o edifício como será após reabilitado, como mostrado na Figura 33.

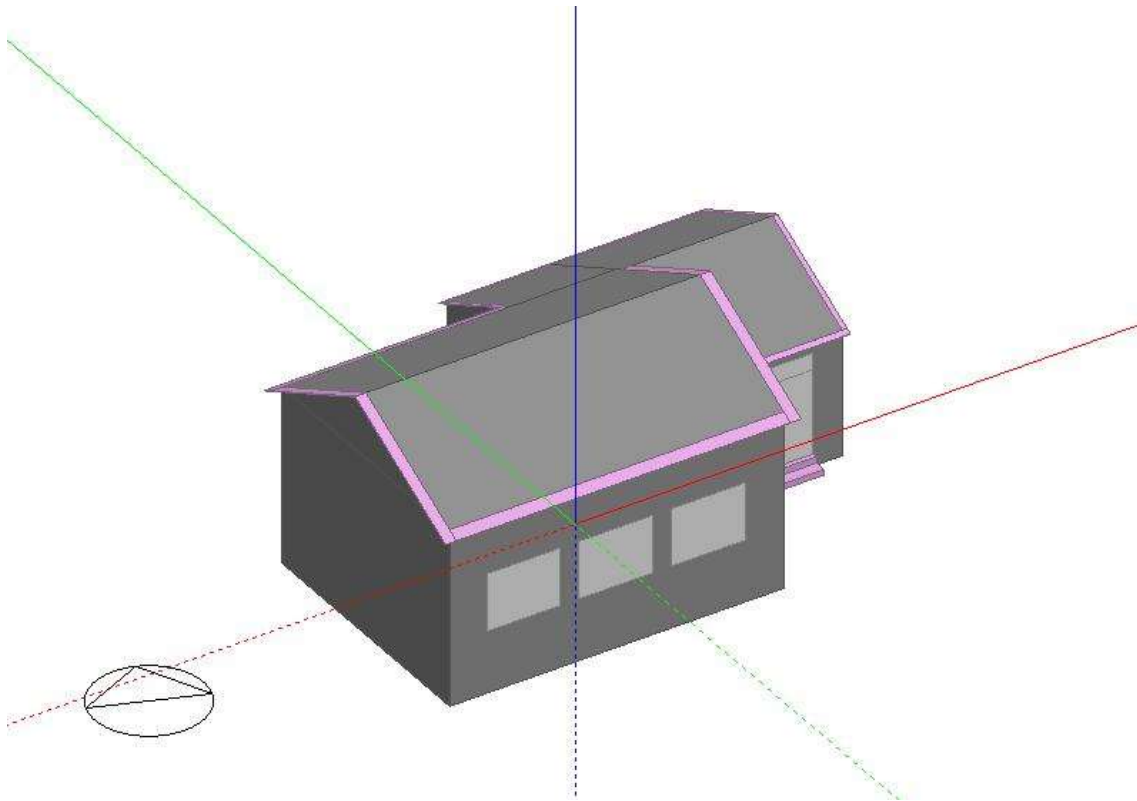


Figura 33 – Modelo do edifício de reabilitação da Escola Primária de Rio de Onor no *software DesignBuilder*

Primeiramente, para as duas épocas estudadas, comparou-se a temperatura interna do edifício antes e pós intervenção.

Para época de aquecimento, considerou-se um cenário onde o mesmo sistema de climatização previsto no projeto de reabilitação fosse instalado no edifício original. Com isto foi realizado o cálculo do balanço energético do edifício comparando os dois modelos estudados e posteriormente o consumo proveniente do sistema técnico de aquecimento gasto durante esta época para manter os mesmos níveis térmicos. Em seguida foi realizado a análise do desempenho energético do edifício reabilitado durante o mês e dia considerados críticos.

Para época de arrefecimento calculou-se o consumo que o sistema técnico de arrefecimento teria para manter os mesmos níveis técnicos em ambos os modelos, pré e pós reabilitação e então, afunilando a análise sobre planta de reabilitação, foram calculados os resultados sobre os ganhos energéticos da sala de convívio do edifício durante o mês e dia considerados críticos.

Em síntese realizou-se análise de três modelos com eles possuindo as características presentes na Tabela 3.

Tabela 3 - Síntese dos modelos considerados para a análise da Escola Primária de Rio de Onor

	Planta Original	Planta Reabilitada	Isolamento nas envolventes	Sistema de climatização
Modelo 1	x	-	-	-
Modelo 2	x	-	-	x
Modelo 3	-	x	x	x

Para a primeira análise realizada para época de aquecimento, na qual buscou-se determinar a diferença de ganhos solares entre a fachada principal do edifício orientada a sul e a norte, foi utilizado o Modelo 1 em ambas, alterando-se apenas a orientação.

CAPÍTULO 4.

Análise dos
resultados

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Dos diversos resultados obtidos pelo *software* serão analisados mais profundamente o desempenho térmico dos modelos e os seus respectivos balanços energéticos, análise previamente já estabelecida como o foco desta dissertação.

Os dados climáticos utilizados nas simulações são provenientes do banco de dados do *software* e são referentes aos anos de 2002 e 2003.

4.2. ESCOLA PRIMÁRIA DE COVA DA LUA

4.2.1. Época de aquecimento

A partir da modelação do edifício da Escola Primária de Cova da Lua no *software Designbuilder*, foi possível obter e analisar a carta solar do edifício e, conseqüentemente, a incidência solar nos envidraçados, conforme a Figura 34, correspondente ao dia 19 de janeiro às 13:00h.

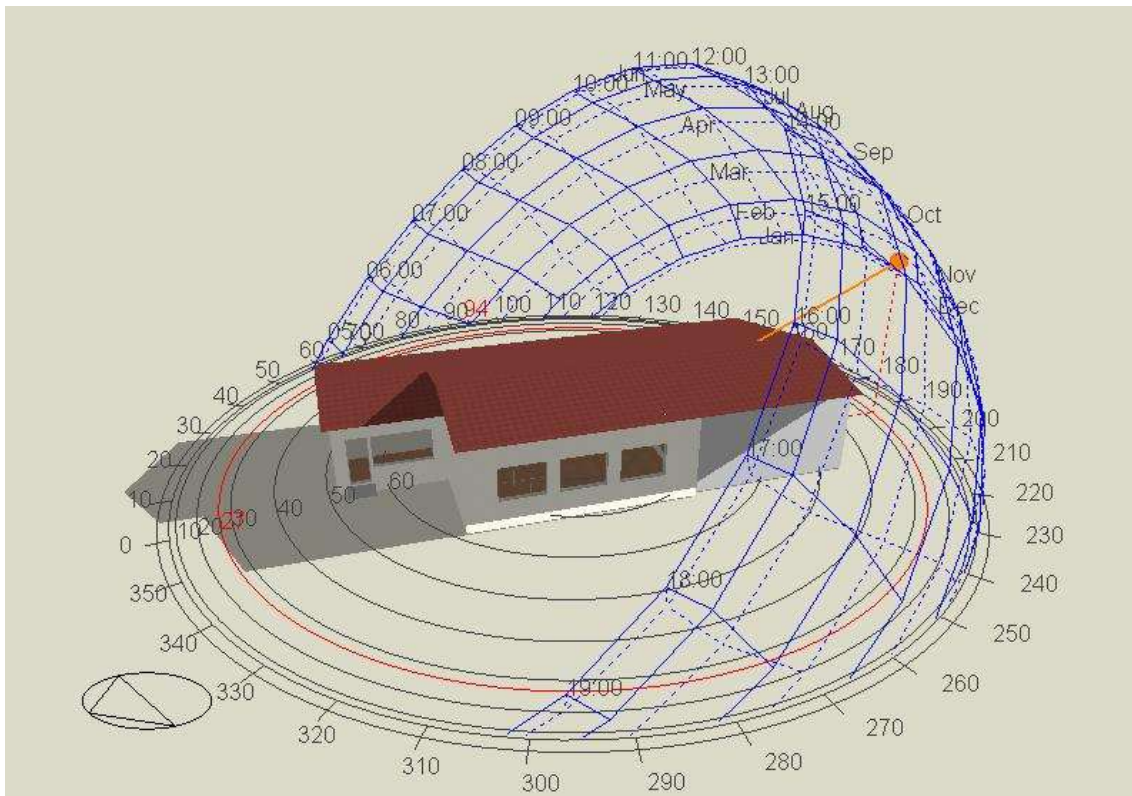


Figura 34 – Carta solar da Escola Primária de Cova da Lua evidenciando o sombreamento durante um dia de janeiro

Percebe-se que, com os principais envidraçados orientados a oeste, no edifício original os ganhos solares por eles eram limitados. Após a reabilitação, a fachada sul torna-se a principal fachada envidraçada, o que auxilia no ganho térmico durante as épocas de baixas temperaturas.

Ao comparar a temperatura durante o mês de outubro até o mês março, como mostrado na Figura 35, percebe-se a diferença entre a qualidade térmica do local onde antes era a sala da escola no Modelo 1, e que depois da reabilitação passará a ser o principal local do edifício no Modelo 3.

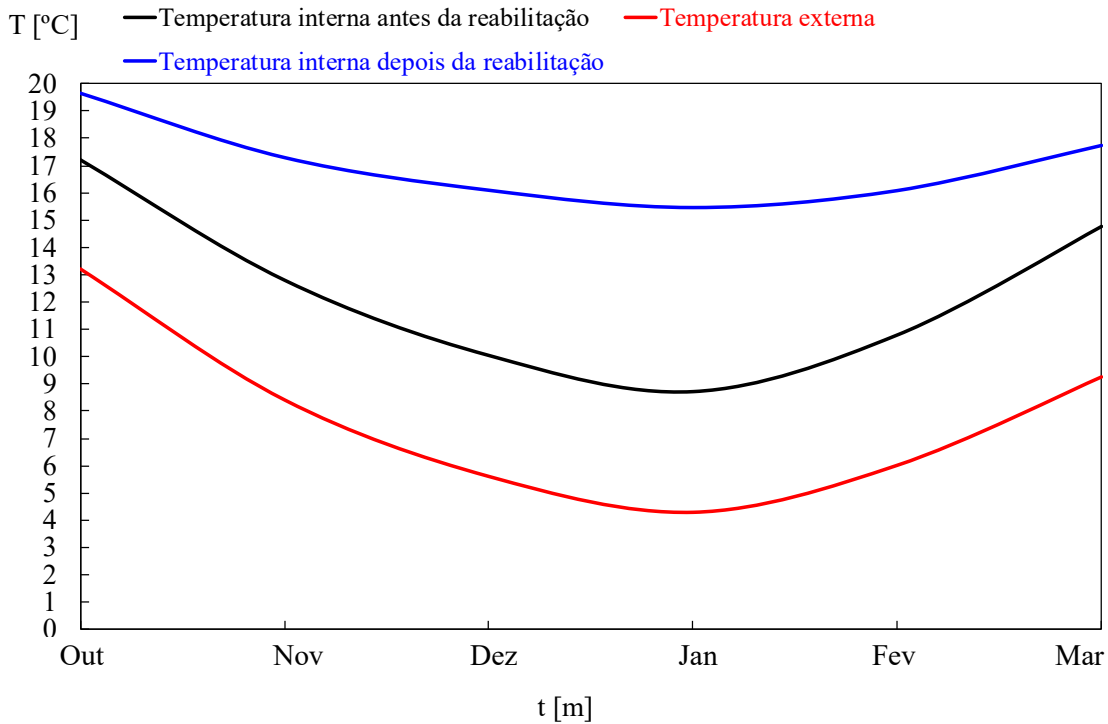


Figura 35 – Temperatura do ar durante a época de aquecimento da Escola Primária de Cova da Lua

O edifício original, durante esta época, apresentou uma temperatura média de 12,39 °C enquanto o edifício reabilitado apresentou uma temperatura média de 17,06 °C. Esta diferença se dá principalmente pelo sistema técnico de aquecimento instalado na reabilitação e pelos materiais isolantes adicionados nas envolventes. Esta análise leva em consideração o horário de não ocupação dos edifícios, tempo que em que o sistema de climatização não está em funcionamento.

Para uma melhor análise da importância dos elementos passivos do edifício simulou-se quatro diferentes concepções do edifício, todas elas com o sistema técnico de aquecimento de mesma eficiência daquele previsto no projeto de reabilitação. Os cenários foram o edifício original (Modelo 2), a reabilitação original (Modelo 3), a reabilitação sem a parede verde (Modelo 4), no qual trocou-se a camada vegetal pelo revestimento usado nas outras paredes, e a reabilitação sem a parede trombe (Modelo 5), no qual retirou-se a parede de inércia do sistema deixando apenas o envidraçado.

Os balanços energéticos de cada modelo podem ser vistos na Figura 36 e correspondem a área principal dos edifícios, aquela na qual está previsto a instalação da salamandra.

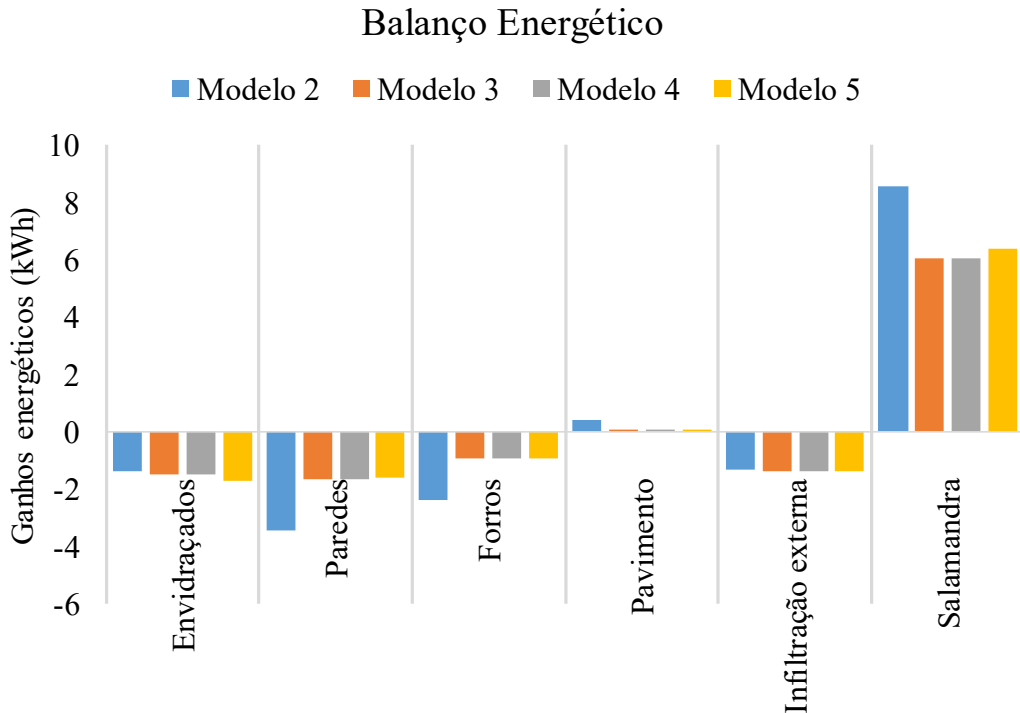


Figura 36 – Balanço energético da época de aquecimento da Escola Primária de Cova da Lua

O edifício original, apesar da área estudada ser consideravelmente menor que no edifício após a reabilitação, em geral possui um desempenho inferior e necessita de uma potência mais elevada que os outros modelos para manter os mesmos níveis de conforto térmico, 8,54 kWh contra 6,08 kWh do modelo da reabilitação. As paredes, com a reabilitação, possuem uma perda energética praticamente duas vezes inferior à do edifício original, mesmo a área considerada sendo bem superior, sendo -3,46 kWh no edifício original e 1,62 kWh no edifício reabilitado. Assim como os forros, que apresentaram uma perda de 2,35 kWh na planta original e 0,92 kWh na planta de reabilitação.

No modelo sem a parede trombe a perda energética pelos envidraçados foi superior pois o envidraçado que antes era “protegido” por uma parede de inércia passou a estar exposto. E a perda pelas paredes não sofreu alteração neste modelo. Isto resultou numa necessidade energética proveniente da salamandra levemente superior aos outros modelos de reabilitação, sendo 6,36 kWh.

O modelo sem a parede verde não apresentou os resultados esperados, mantendo seus níveis energéticos no balanço térmico praticamente inalterados em comparação ao projeto de reabilitação original. Acredita-se que isto ocorre devido ao fato do *software* não possuir um modelo de parede verde validada, não apresentando resultados precisos da contribuição da parede verde para o edifício.

Dando um enfoque na necessidade energética proveniente do sistema técnico de aquecimento durante os 6 meses estudados, de outubro a março, através da Figura 37 é possível ver as diferenças considerando os quatro modelos utilizados na análise anterior.

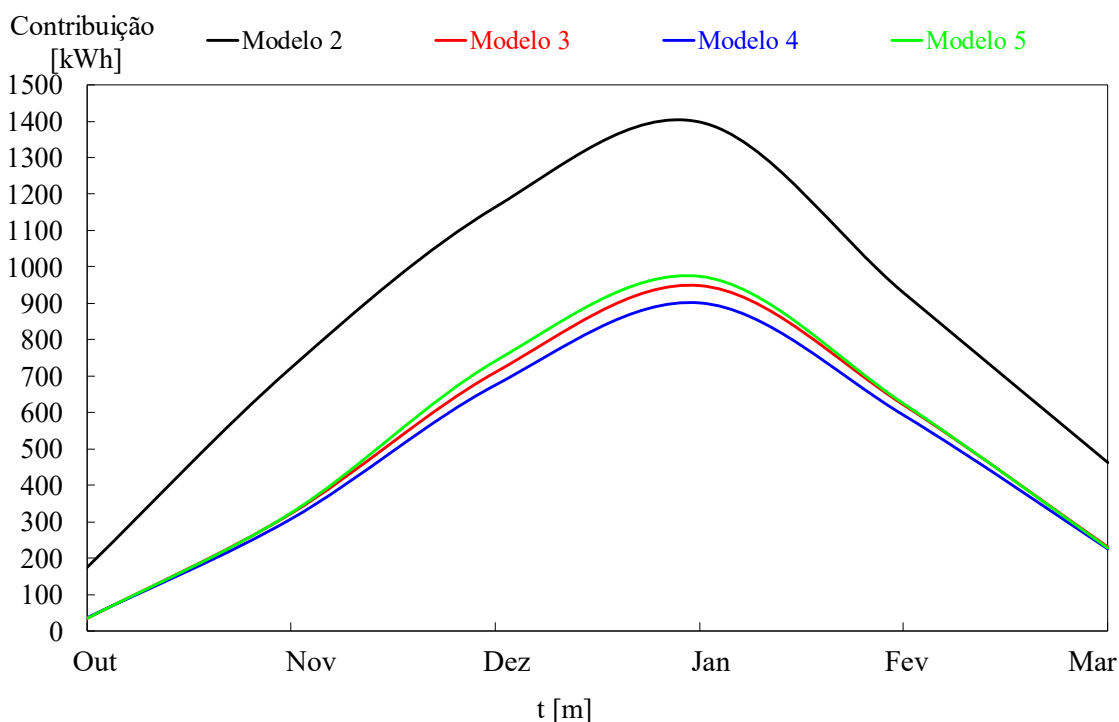


Figura 37 – Contribuição energética proveniente da salamandra na Escola Primária de Cova da Lua

Como esperado, o edifício original, correspondente ao Modelo 2, mesmo possuindo uma área bem inferior aos outros modelos, necessitou de mais contribuição da salamandra para o aquecimento da sua sala de aula, apresentando uma média nestes meses de 808,35 kWh. Isto se dá devido ao baixo isolamento das suas envolventes o que causa uma alta perda energética. O modelo da reabilitação original, correspondente ao Modelo 3 do gráfico, teve um desempenho consideravelmente superior, atingindo uma média de 477,88 kWh, o que corresponde a uma redução de 40,88% da média encontrada no modelo original. O Modelo 4, edifício sem a parede de trombe, atingiu uma média de 487,69 kWh, um desempenho levemente inferior ao modelo original, resultado esperado pela retirada da parede de inércia do sistema. Em contrapartida o Modelo 5, sem a parede verde, não atingiu o desempenho esperado, já que a sua retirada ocasionou na diminuição do consumo energético proveniente do sistema técnico de aquecimento.

Aprofundando a análise sobre o edifício reabilitado, através da Figura 38 é possível analisar o desempenho geral da área principal do edifício durante os meses estudados.

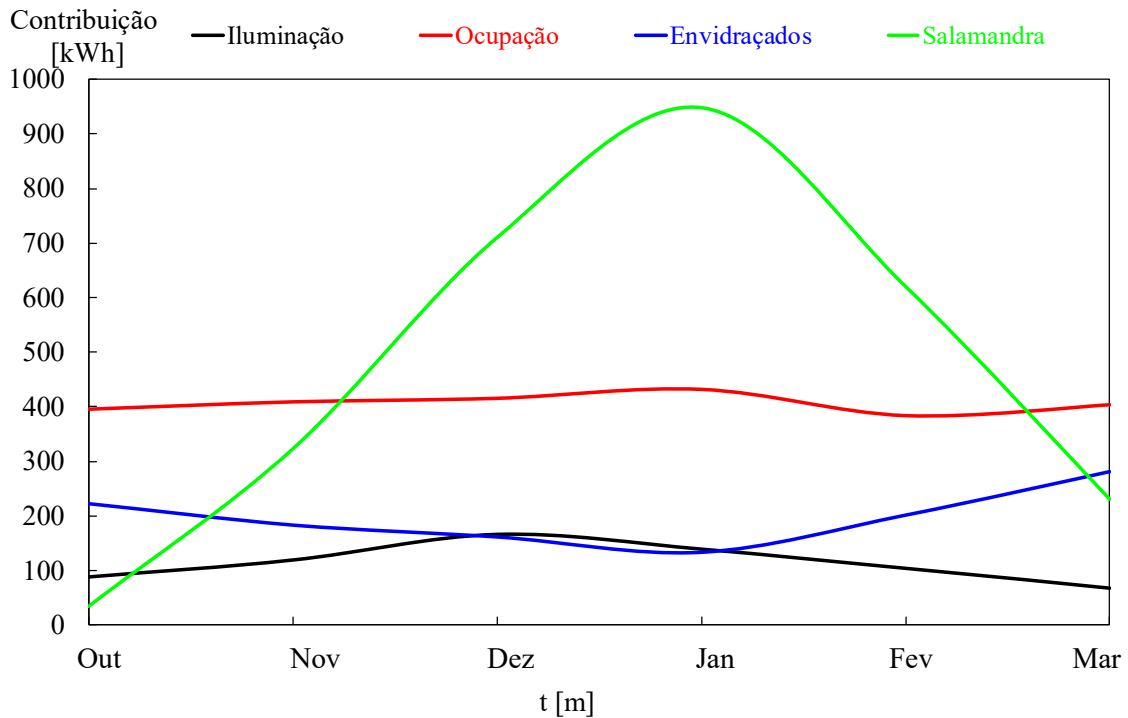


Figura 38 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Cova da Lua

Percebe-se que o aumento da necessidade energética proveniente da salamandra vem acompanhado das quedas da temperatura e, conseqüentemente, a queda dos ganhos solares nesta época. Os ganhos vindos da iluminação artificial, por estarem atrelados a luz solar, apresentam um aumento como consequência da diminuição da iluminação solar. A Figura 39 mostra o desempenho do edifício durante o mês de janeiro, o mais crítico deles.

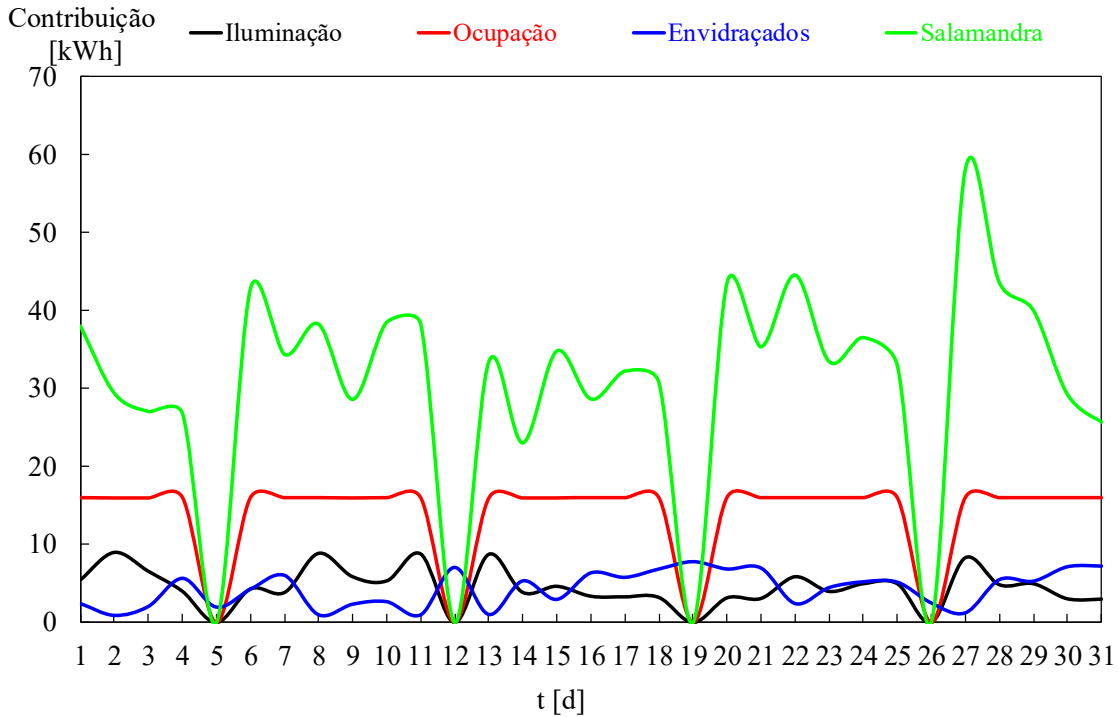


Figura 39 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Cova da Lua

A variação dos ganhos internos proveniente da salamandra está atrelada a própria variação da temperatura originado dos dados climáticos utilizados pelo *software*. É possível perceber a existência de picos energéticos da salamandra após os dias de não ocupação. Nota-se também a variação dos ganhos térmicos provenientes dos envidraçados e um pico do uso da salamandra no dia 27. Isto ocorre pelas baixas temperaturas encontradas no dia e, conseqüentemente, os baixos ganhos térmicos. Outro fator que coopera com este pico é o fato do dia anterior ser um de não ocupação, dia no qual não existem ganhos energéticos provenientes da iluminação, ocupação e sistema técnico de aquecimento. Através da Figura 40 é possível analisar este dia em questão.

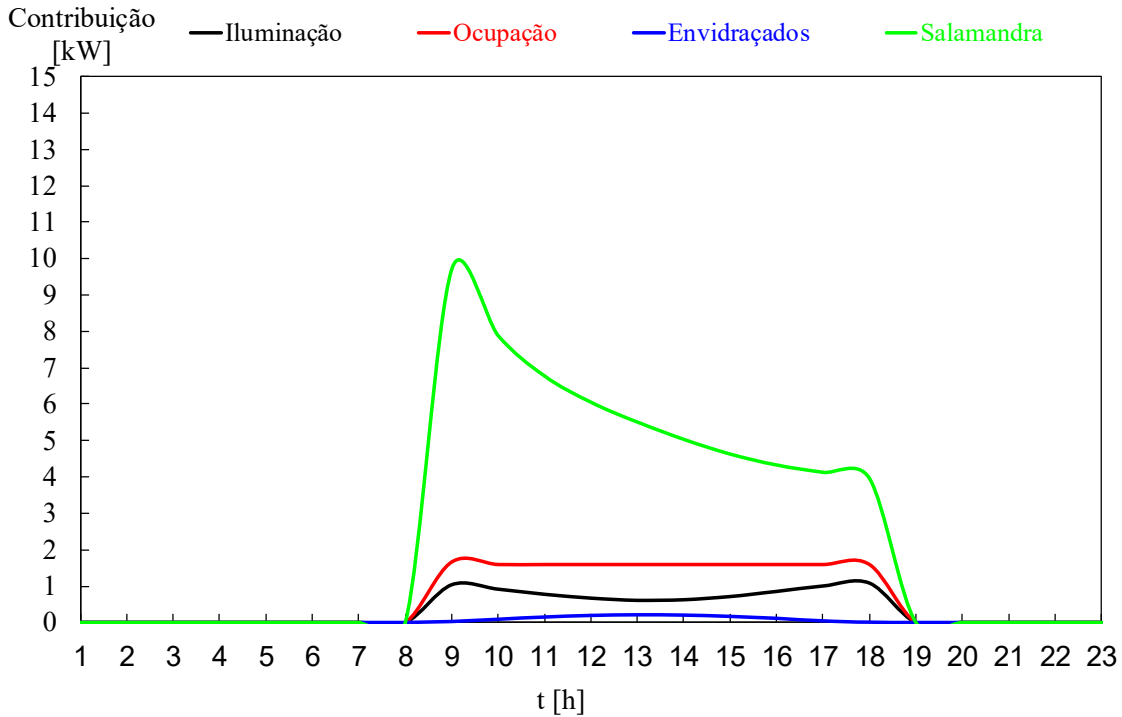


Figura 40 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Cova da Lua

Ao início da ocupação, devido a baixa temperatura do ambiente torna-se necessário uma alta contribuição energética proveniente da salamandra e, ao longo do dia, por praticamente não acontecer ganhos térmicos provenientes do sol, devido ao clima registrado no dia, a salamandra acaba tendo que compensar tais faltas.

4.2.2. Época de arrefecimento

A carta solar do edifício durante a época de arrefecimento, época considerada entre o mês de abril até o mês de setembro, pode ser vista na Figura 41, correspondente ao dia 7 de julho as 12:00h.

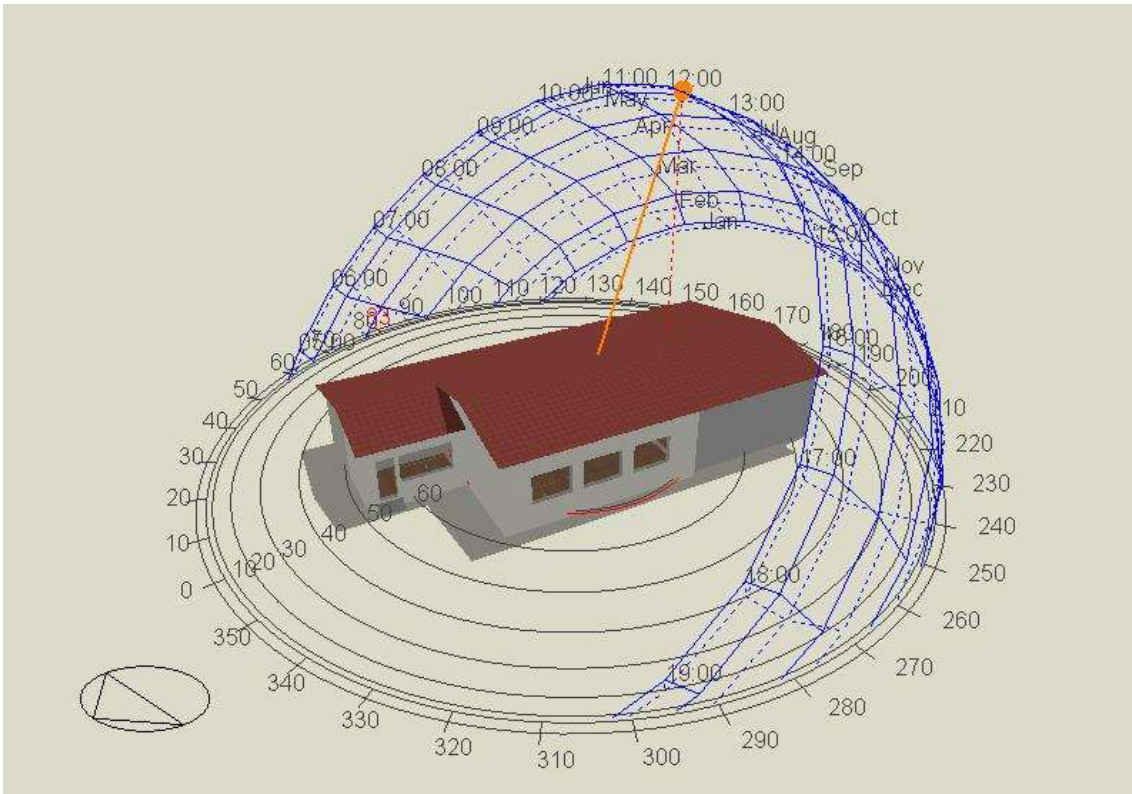


Figura 41 – Carta solar da Escola Primária de Cova da Lua evidenciando o sombreamento durante um dia de julho

É possível observar que os envidraçados da fachada oeste se encontram sombreados enquanto os da fachada sul, assim como na época de aquecimento, encontram-se expostos.

Através da Figura 42 é possível ver a temperatura interna do principal compartimento do edifício antes e depois de reabilitado, considerando os projetos originais, entre os meses de abril a setembro.

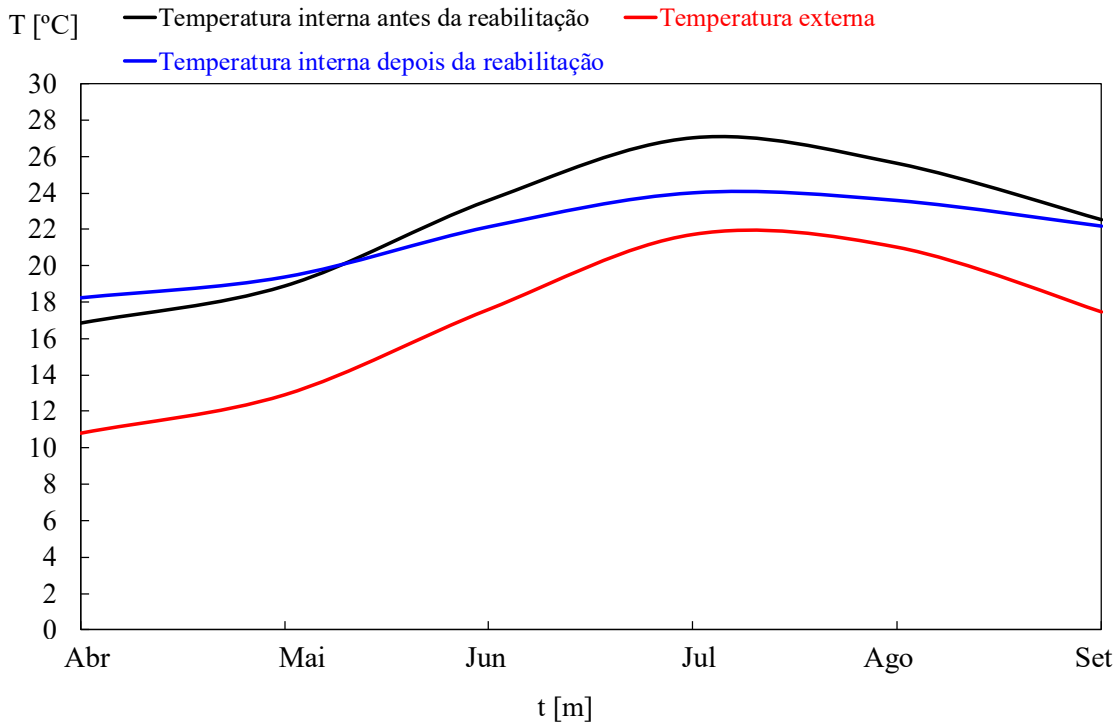


Figura 42 – Temperatura do ar durante a época de arrefecimento da Escola Primária de Cova da Lua

Percebe-se que a curva que representa a temperatura interna do edifício antes de reabilitado mantém-se paralela a temperatura externa da região estudada, mantendo-se cerca de 6 °C superior. No modelo pós intervenção a temperatura mantém-se entre o intervalo de 18 a 24 °C, evitando picos onde a temperatura causa desconforto aos usuários. Esta manutenção da temperatura deve-se principalmente ao sistema técnico de arrefecimento previsto para o edifício reabilitado, sem ele o desempenho térmico do edifício seria pior do que o original devido a infiltração externa ser inferior e o edifício possuir a característica, devido ao isolamento das envolventes, de evitar a perda energética obtida.

Simulou-se então a contribuição necessária que o mesmo sistema de resfriamento, o que está previsto para o edifício reabilitado, teria para manter os mesmos níveis térmicos em quatro cenários diferentes, o edifício original (Modelo 2), o edifício reabilitado (Modelo 3), o edifício reabilitado sem a parede verde (Modelo 4) e outro modelo sem a parede trombe (Modelo 5). Através da Figura 43 é possível ver os resultados obtidos.

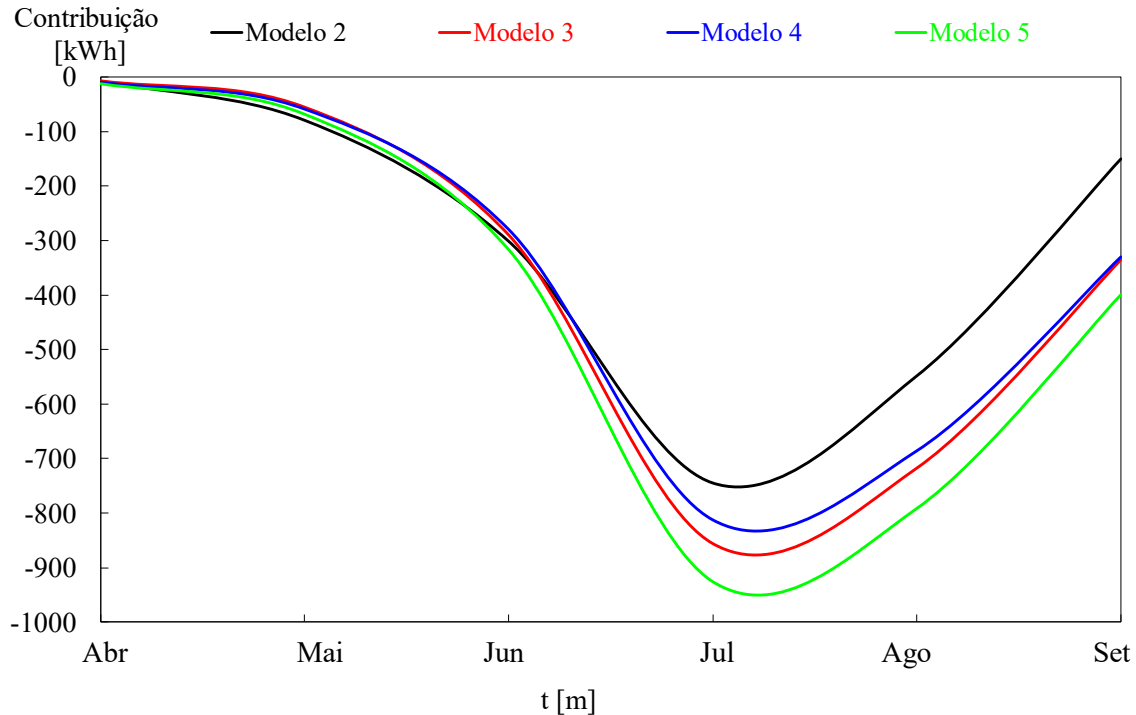


Figura 43 – Contribuição energética proveniente do ar condicionado na Escola Primária de Cova da Lua

Torna-se importante compreender que para a análise da necessidade energética do sistema de arrefecimento, pelo *software* realizar os cálculos através do conceito do balanço energético, os valores encontrados devem ser analisados em seus valores absolutos para determinação do consumo.

Portanto, percebe-se que o edifício antes de reabilitado, correspondente ao Modelo 2, necessitaria de uma contribuição menor que os outros modelos, atingindo uma média de 305,53 kWh contra 376,81 kWh do Modelo 3, correspondente ao edifício reabilitado. Estes resultados diferem daqueles obtidos para a época de aquecimento, o qual mesmo possuindo uma área menor, o modelo original do edifício necessitou de uma contribuição superior da salamandra. Isto ocorre, como apontado anteriormente, devido a área da sala de aula ser consideravelmente menor que a área da sala principal dos modelos de reabilitação e também pelo fato de não haver isolamento nas envolventes, o que possibilita uma perda energética interna mais eficiente que nos outros modelos.

Entre os modelos de reabilitação, inesperadamente, o que não possui parede verde, correspondente ao Modelo 4, apresentou uma necessidade menor que a planta de reabilitação original, mesmo a parede verde, de acordo literatura, possuir características

de arrefecimento. Isto aponta a imprecisão do *software* para a simulação de uma parede verde, modelo que não possui validação.

Já o modelo sem a parede trombe, correspondente ao Modelo 5, necessitou de um consumo maior do sistema de arrefecimento, impacto da ausência da parede de inércia que, apesar de não possuir grandes dimensões quando comparado a dimensão da fachada, já impacta no desempenho energético do edifício.

Aprofundando a análise no projeto de reabilitação é possível, através da Figura 44, a análise dos ganhos energéticos durante a época estudada

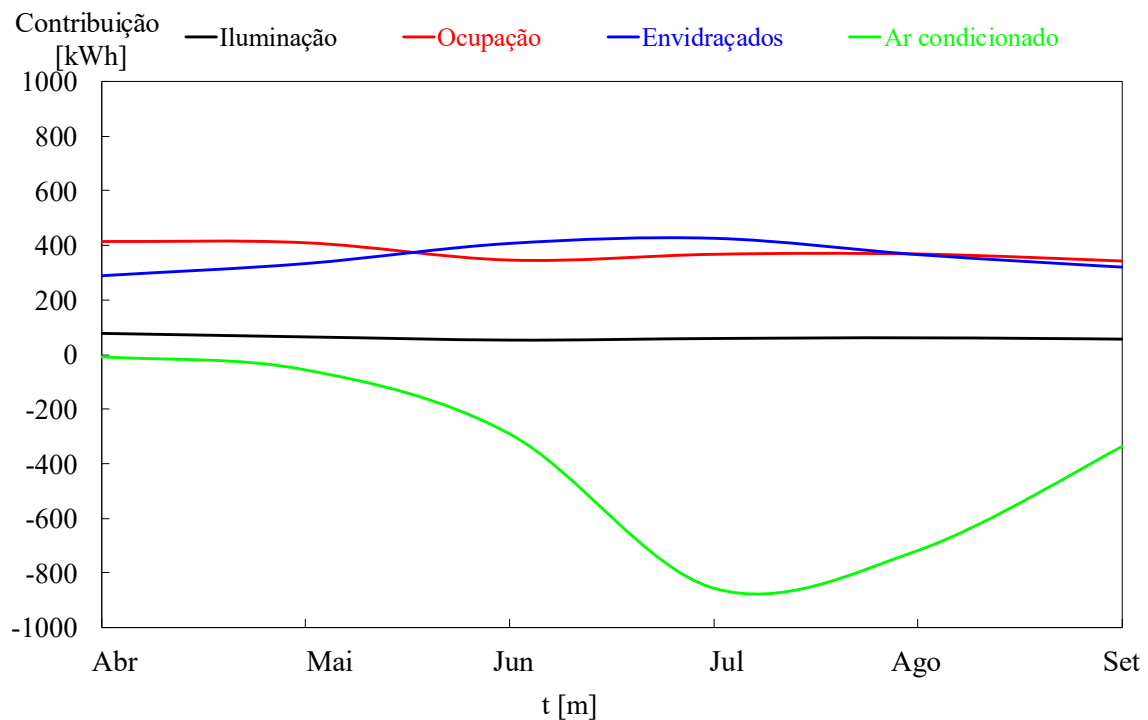


Figura 44 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Cova da Lua

Nota-se o aumento dos ganhos provenientes dos envidraçados e o aumento do consumo da necessidade energética proveniente do sistema de resfriamento na mesma época, ambas reflexo do aumento das temperaturas externas. Neste caso, o mês crítico da análise sendo o de julho.

Através da Figura 45 é possível ver os ganhos energéticos durante este mês.

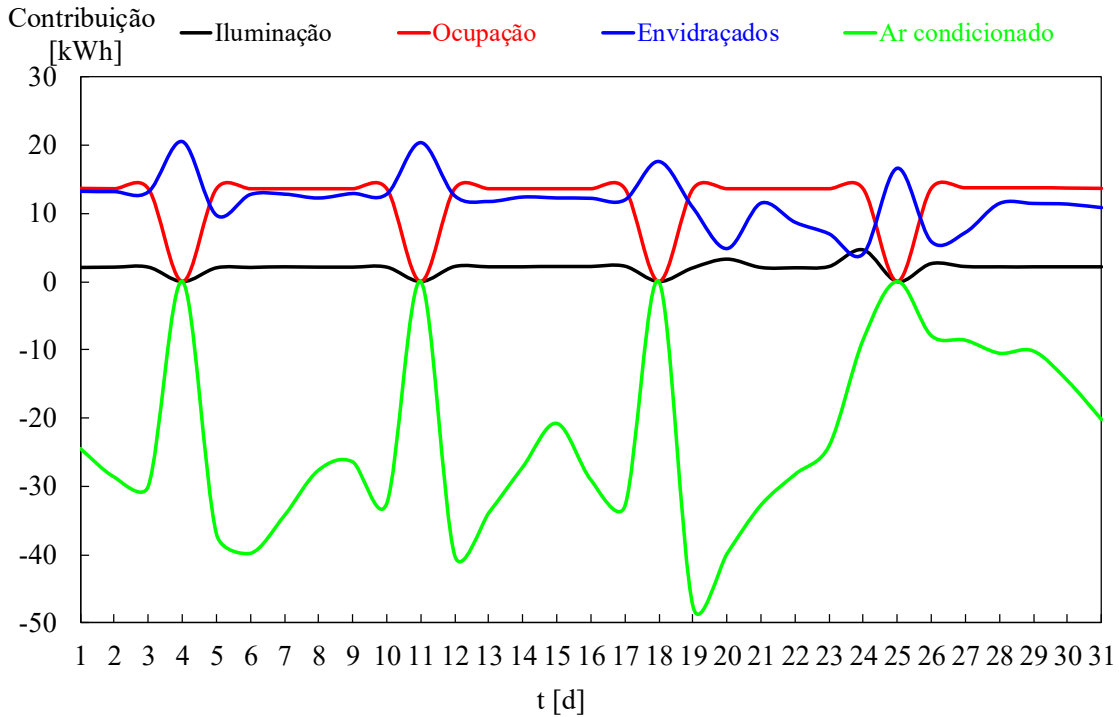


Figura 45 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Cova da Lua

A contribuição necessária para a manutenção da temperatura dentro dos parâmetros pré-definidos do sistema técnico de arrefecimento varia de acordo com a temperatura externa e com a energia acumulada no edifício. Percebe-se que nos dias após os dias de não ocupação, onde não se utilizou os sistemas de climatização e nem os protetores internos dos envidraçados, ocorrem extremos de exigência energética no ar condicionado.

Através da Figura 46 é possível ver o desempenho horário do edifício no dia 19 de julho, dia no qual ocorreu o pico da contribuição energética proveniente do sistema técnico de arrefecimento.

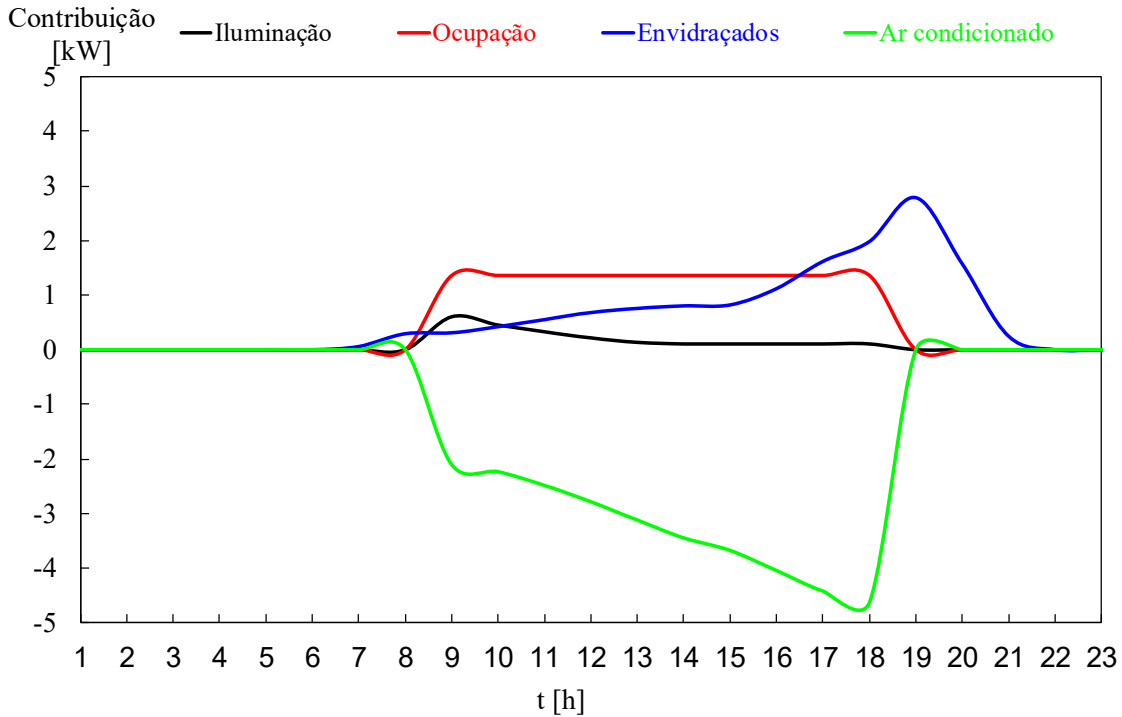


Figura 46 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Cova da Lua

O aumento da contribuição do ar condicionado cresce junto com o crescimento dos ganhos solares pelos envidraçados, reflexo também do aumento das temperaturas externas.

4.3. ESCOLA PRIMÁRIA DE RIO DE ONOR

4.3.1. Época de aquecimento

Analisando a incidência solar no edifício da Escola Primária de Rio de Onor, através da Figura 47, que corresponde ao dia 17 de janeiro as 12:00h, é perceptível a adequada orientação do mesmo para esta época, sendo seus envidraçados orientados para sul, o que auxilia nos ganhos térmicos.

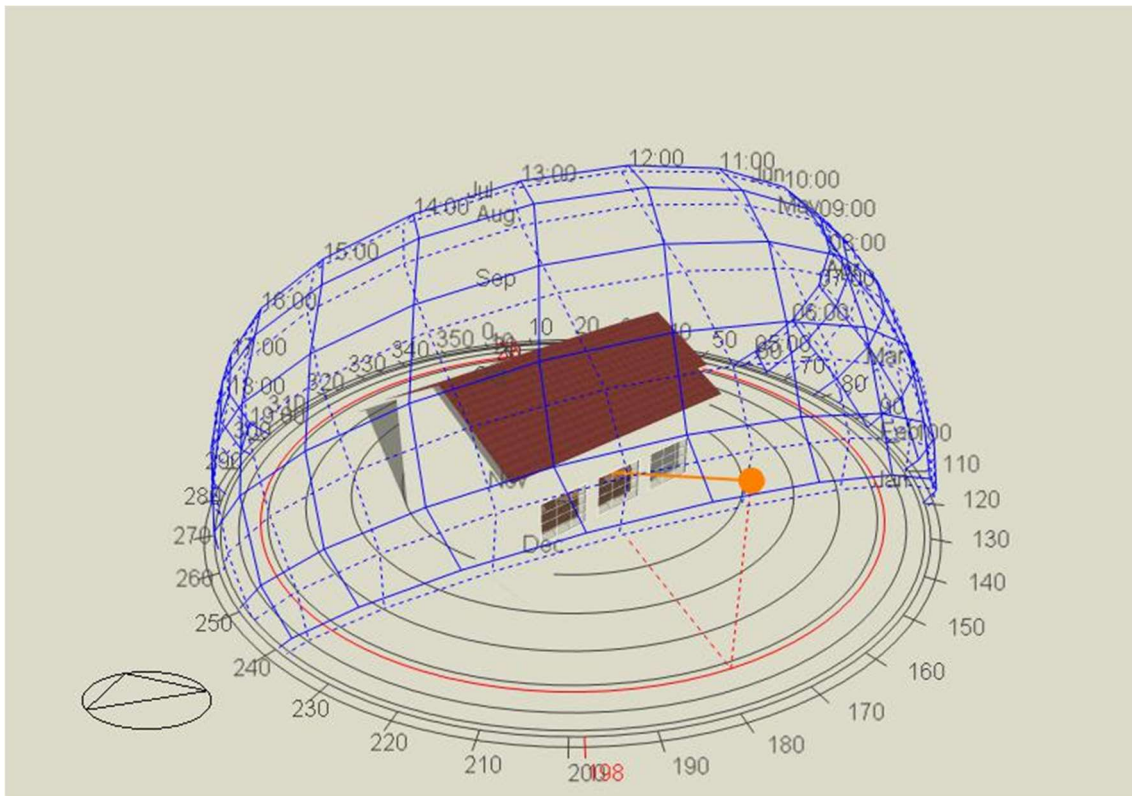


Figura 47 – Carta solar da Escola Primária de Rio de Onor evidenciando o sombreamento durante um dia de janeiro

Realizando uma simulação de um cenário em que a fachada principal fosse orientada para o norte, ou seja, a 180° do original é possível perceber, através da Figura 48, a diferença de ganhos internos através dos envidraçados que a edificação teria em comparação com a original.

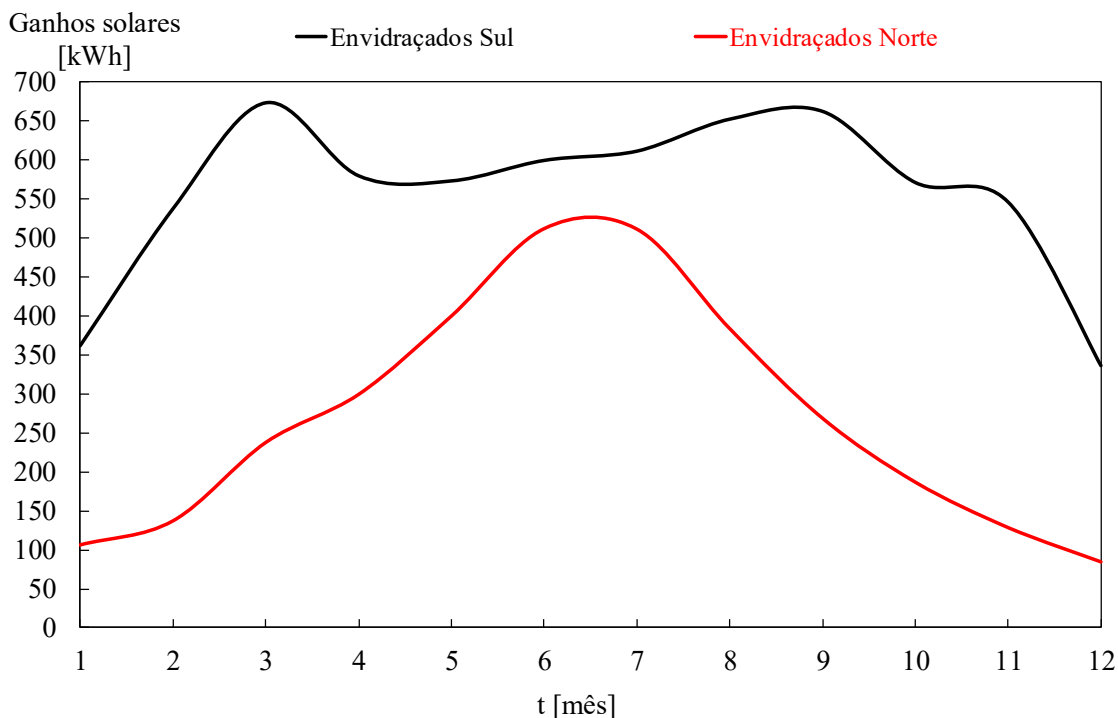


Figura 48 – Ganhos solares através dos envidraçados na Escola Primária de Rio de Onor

No cenário em que a fachada principal, e consequentemente os envidraçados, encontram-se orientados para sul, como é o edifício original, a média dos ganhos solares entre os meses de dezembro a março é de 253% superior do cenário onde a fachada principal é orientada para o norte. Porém, por não possuir sistemas técnicos para aquecimento e nem materiais isolantes nas envolventes, durante a época em que era utilizada, a qualidade térmica do edifício durante a época de aquecimento era baixa.

A Figura 49 mostra a comparação entre a temperatura interna do local onde anteriormente era a sala de aula da escola antes e depois da reabilitação durante o mês de outubro até o mês março.

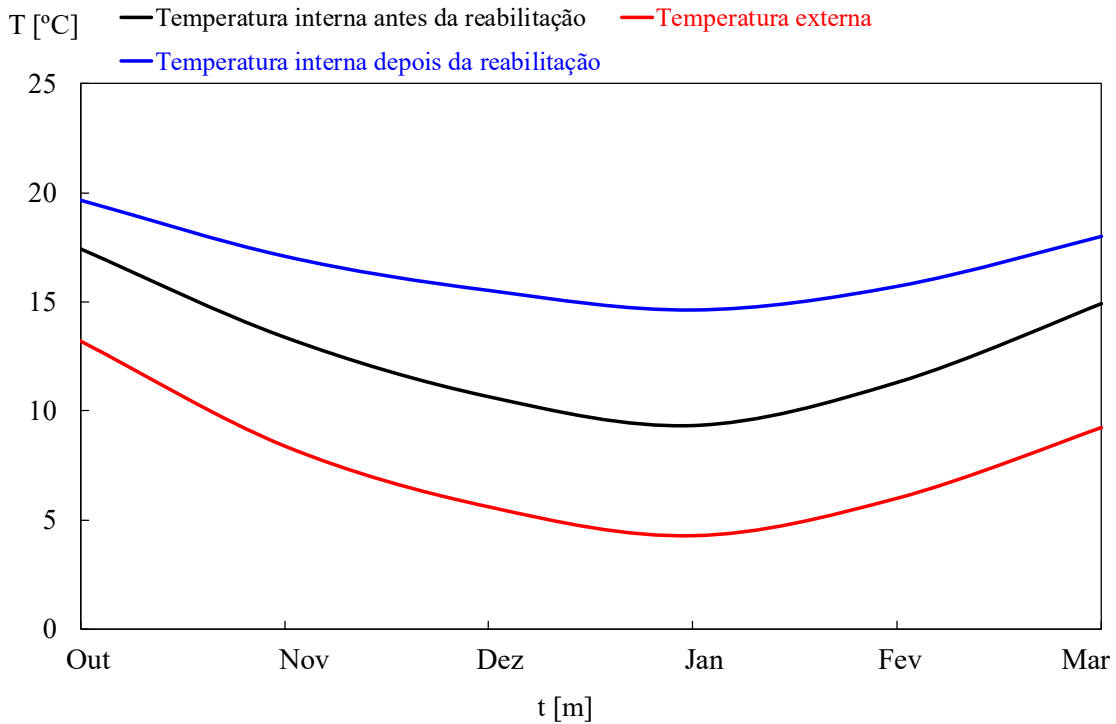


Figura 49 – Temperatura do ar durante a época de aquecimento da Escola Primária de Rio de Onor

Durante a época de frio, a temperatura interna da área onde antigamente era a sala de aula, antes da reabilitação, é baixa. Ela apresenta uma média durante estes meses de 12,85°C. A temperatura média deste mesmo espaço após a reabilitação atinge uma média de 16,78°C, modelo que considera os sistemas técnicos de aquecimento. A temperatura externa neste tempo obteve uma média de 7,8°C. Esta análise leva em consideração o horário de não ocupação do edifício, quando o sistema técnico de aquecimento não está em funcionamento.

Quando realizado a simulação considerando o mesmo sistema técnico de aquecimento no projeto original e no de reabilitação, através da Figura 50, torna-se possível analisar a diferença entre os balanços energéticos do ambiente onde era a sala de aula e a diferença de necessidade energética proveniente do sistema de climatização para a manutenção nos mesmos níveis térmicos em ambos os casos.

Balço Energético

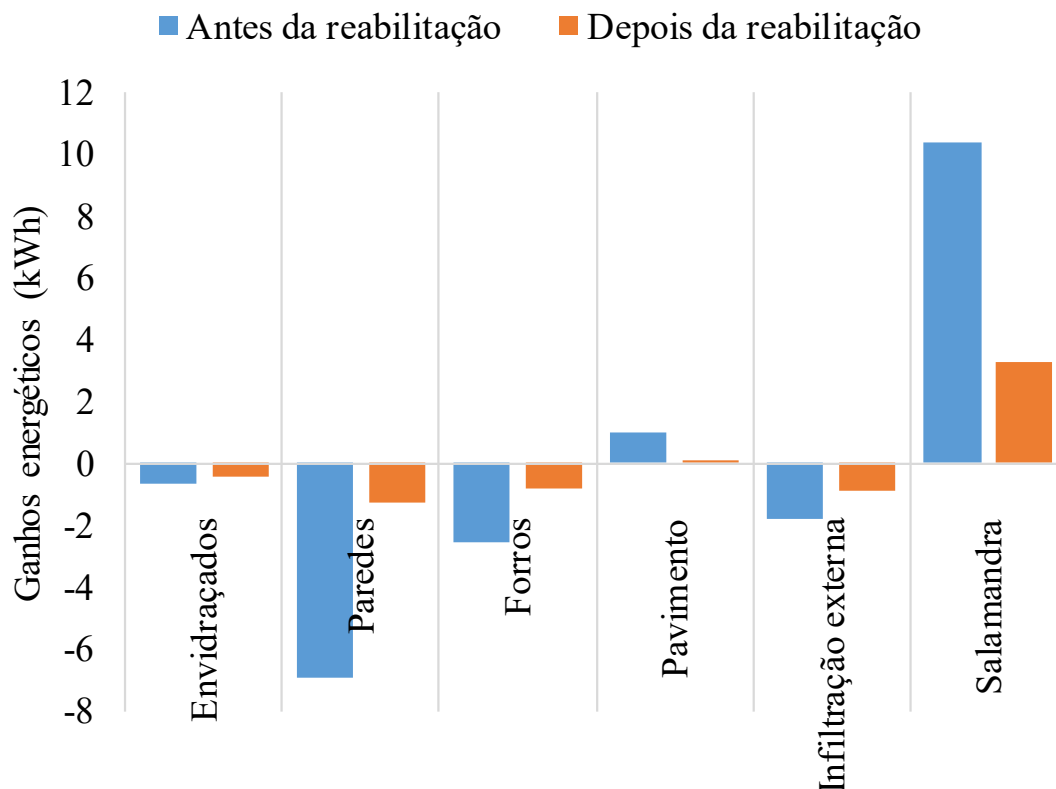


Figura 50 – Balço energético da época de aquecimento da Escola Primária de Rio de Onor

As paredes são as principais responsáveis pelas perdas energéticas antes da reabilitação e são as que apresentam uma das maiores mudanças no balanço energético do edifício, apresentando um desempenho aproximadamente 5 vezes melhor que o anterior, passando a ser -1,23 kWh do que antes era -6,90 kWh. A perda energética pelo forro passou de -2,56 kWh para -0,79 kWh. Para manter os mesmos níveis térmicos operacionais o edifício antes de sofrer a intervenção necessitaria de aproximadamente o triplo de exigência energética proveniente do sistema de climatização, 10,38 kWh contra 3,29 kWh do edifício após reabilitado.

Simulando os gastos totais com a salamandra dos dois cenários, antes e depois da reabilitação, através da Figura 51 percebe-se a grande diferença que a melhora nas envolventes tem sobre o gasto final entre o mês de outubro até o mês de março.

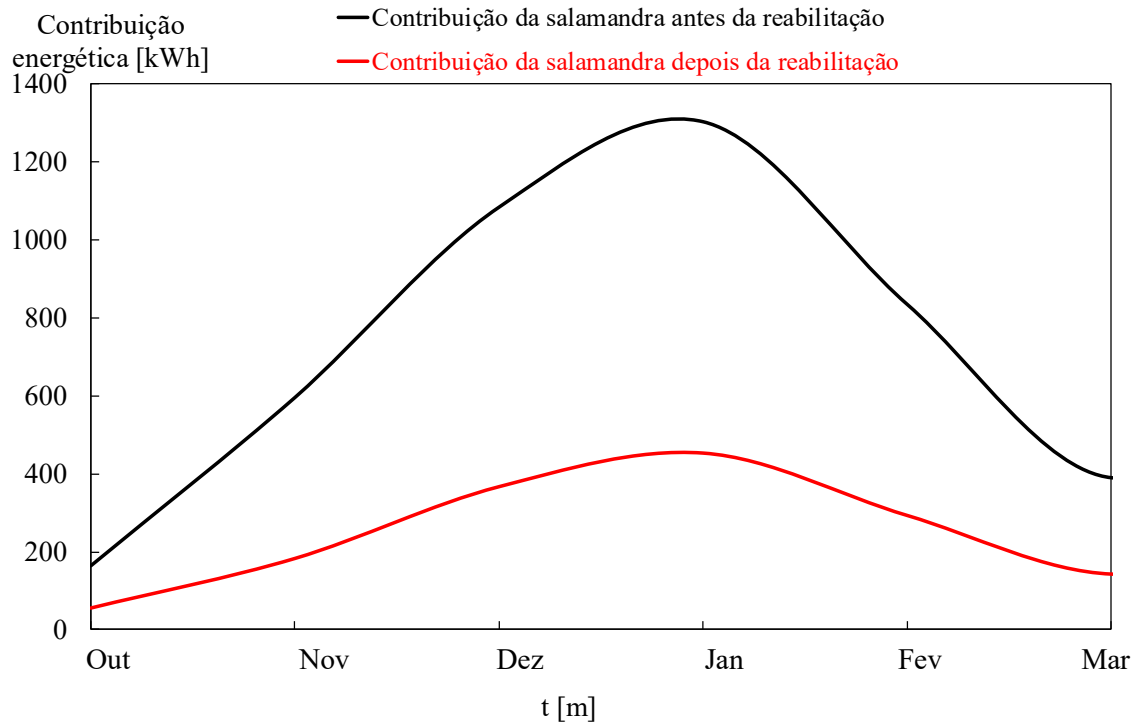


Figura 51 – Contribuição energética proveniente da salamandra na Escola Primária de Rio de Onor

No modelo original, o edifício necessita de uma média de 728,43 kWh de contribuição energética proveniente do sistema ativo de aquecimento enquanto após a reabilitação a necessidade calculada foi de 249,20 kWh, obtendo uma redução de 65,78% entre os modelos. Isto ocorre devido a capacidade do edifício reabilitado de reter energia, consequência da utilização de materiais isolantes em sua envolvente.

Aprofundando a análise no desempenho do edifício após a intervenção, através da Figura 52 é possível analisar os diferentes ganhos energéticos da construção entre os meses de baixas temperaturas.

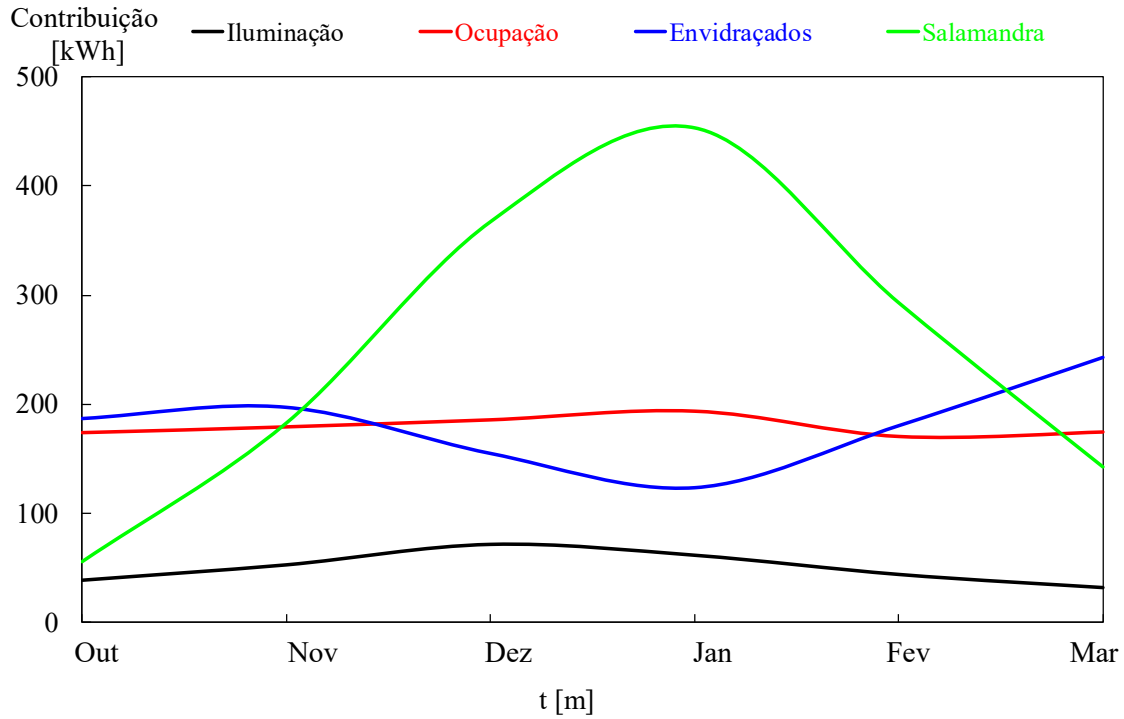


Figura 52 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Rio de Onor

É perceptível a necessidade elevada do sistema de climatização no mês 4 no gráfico, referente a janeiro, e também a queda dos ganhos solares pelos envidraçados nesta época, atrelada com a queda das temperaturas da região. A Figura 53 mostra uma análise mais aprofundada do desempenho durante este mês.

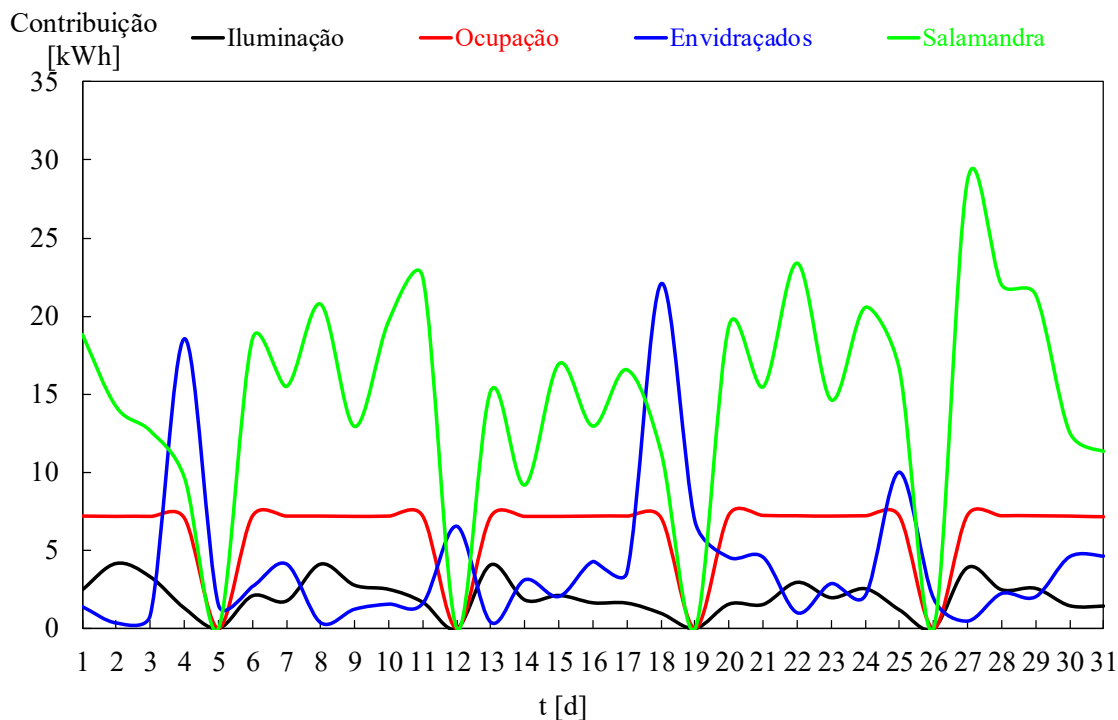


Figura 53 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Rio de Onor

É possível perceber a variação dos ganhos solares, resultado da variação climática da região. A salamandra varia de acordo com a necessidade de manter os níveis térmicos nos valores pré-definidos, o que também é impulsionado pelas mudanças climáticas. Assim como em Cova da Lua, um dia de não ocupação do edifício é sempre seguido por um pico de exigência energética da salamandra.

Em seguida foi realizada uma análise do dia 27 de janeiro, dia no qual constatou-se um pico de exigência energética proveniente do sistema técnico de aquecimento. Os resultados são apresentados na Figura 54.

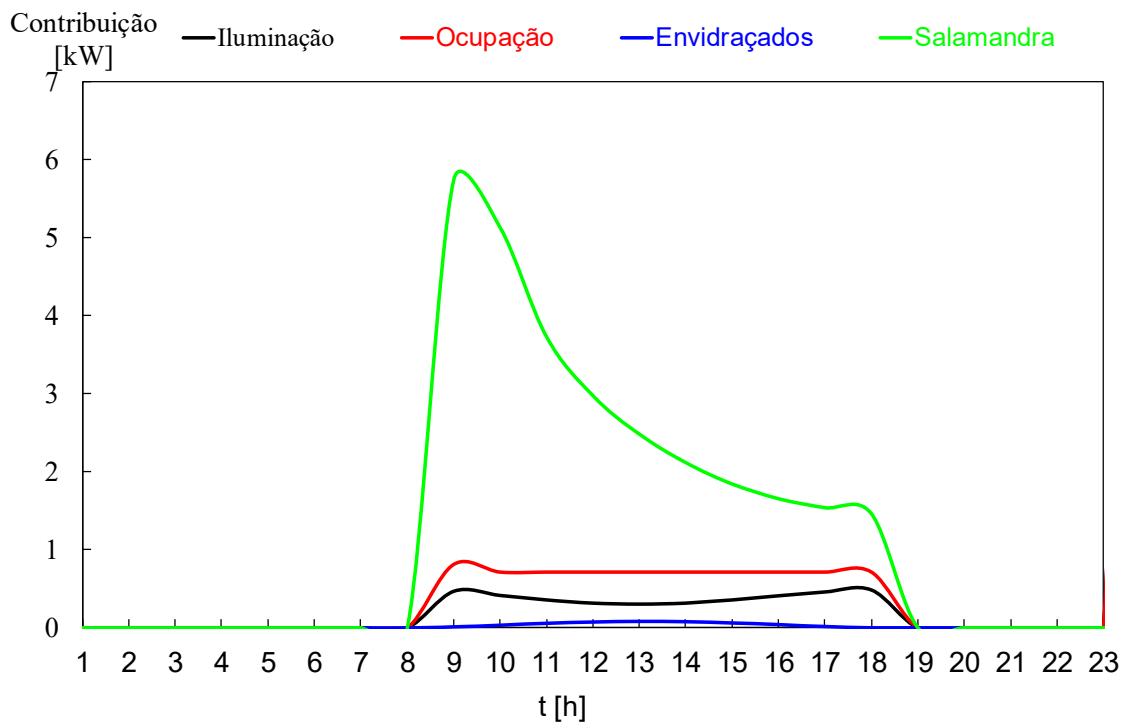


Figura 54 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de aquecimento na Escola Primária de Rio de Onor

Este pico deve-se a baixa temperatura do dia estudado, o que, acompanhado dos quase nulos ganhos solares, mesmo depois de alcançada a temperatura em níveis confortáveis ainda se torna necessário um alto consumo para mate-las. Soma-se isto ao fato do dia estudado ser seguinte a um dia de não ocupação.

4.3.2. Época de arrefecimento

A Figura 55 apresenta a carta solar do edifício evidenciando a época de altas temperaturas, precisamente no dia 7 de julho as 12:00h.

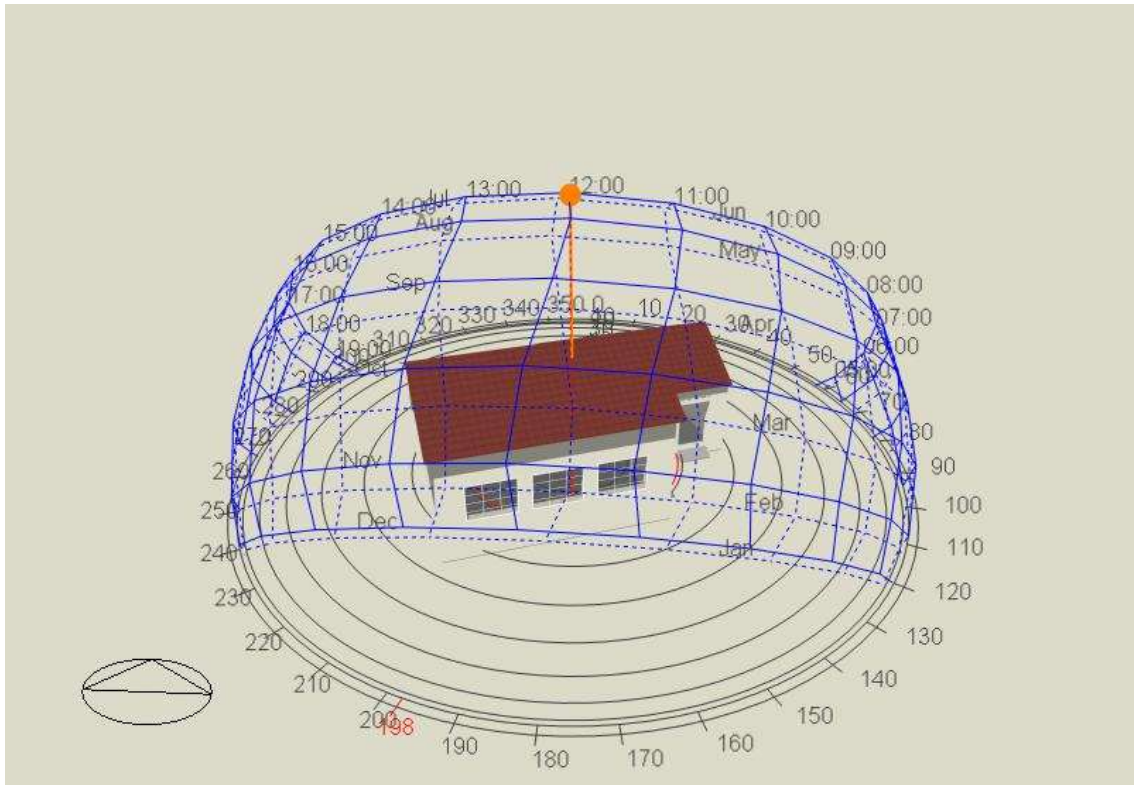


Figura 55 – Carta solar da Escola Primária de Rio de Onor evidenciando o sombreamento durante um dia de julho

Evidencia-se que a falta de sombreamento nos envidraçados da fachada principal, que poderiam impedir ganhos solares.

Pela Figura 56 é possível comparar o desempenho térmico durante os meses de abril a setembro antes de ser reabilitado e após a intervenção, lembrando que esta análise leva em consideração as horas de não ocupação onde os sistemas de climatização, se encontram desligados.

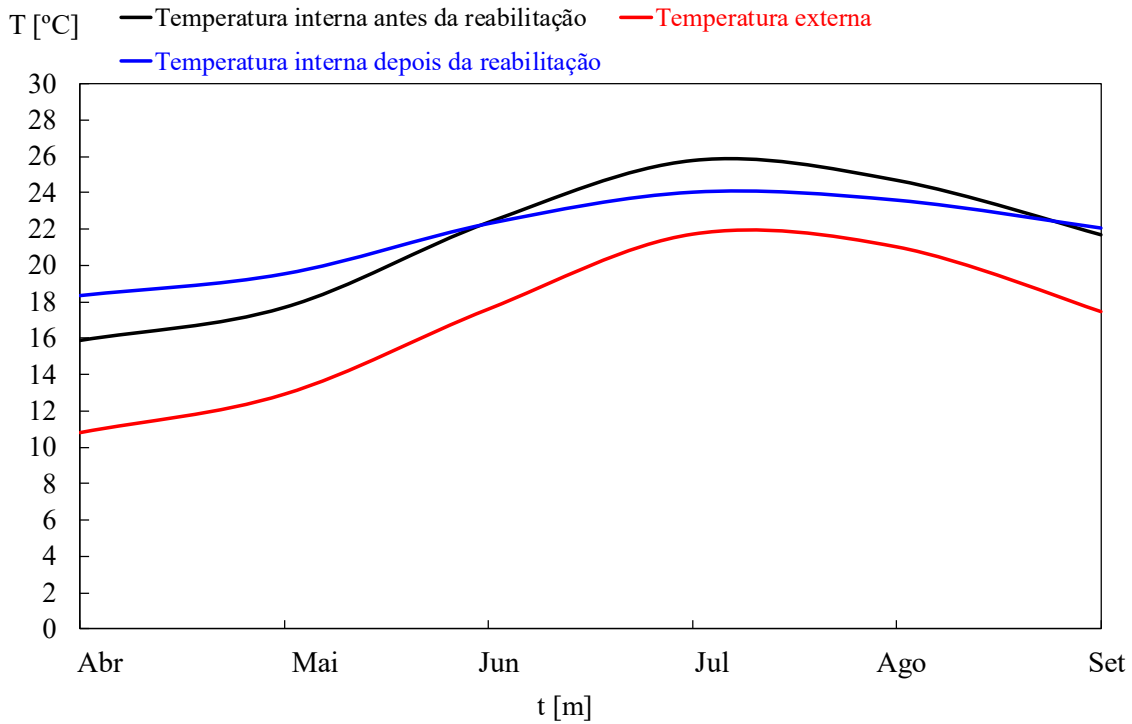


Figura 56 – Temperatura do ar durante a época de arrefecimento da Escola Primária de Rio de Onor

A curva que representa a temperatura interna no edifício original mantém-se paralela a curva da temperatura externa, acompanhando as mudanças climáticas do local. Após a reabilitação a temperatura interna não apresenta mudanças na mesma intensidade do edifício original, mantendo a temperatura mais adequada para os usuários, mantendo-se dentro do intervalo de 18,35°C até 24,03°C. Isto se dá devido, principalmente, ao ar condicionado.

O edifício original possuía a característica de ganhar temperatura com facilidade na mesma medida em que a perdia quando a temperatura externa abaixava, sendo extremamente suscetível a mudança climática do local. Já o edifício reabilitado, por possuir uma melhor vedação em alguns elementos da sua composição, o que evita parte da infiltração externa, e também isolamento nas suas envolventes, acaba ficando dependente do ar condicionado para a manutenção da temperatura em níveis agradáveis. Sem ele, o edifício reabilitado teria um desempenho durante esta época pior que o original apresentando temperaturas internas superiores.

Simulando um cenário onde o edifício antes da reabilitação possui o mesmo sistema técnico de arrefecimento do edifício depois da reabilitação, através da Figura 57

torna-se possível analisar a contribuição energética exigida do ar condicionado para manter os mesmos níveis térmicos e durante o mesmo período.

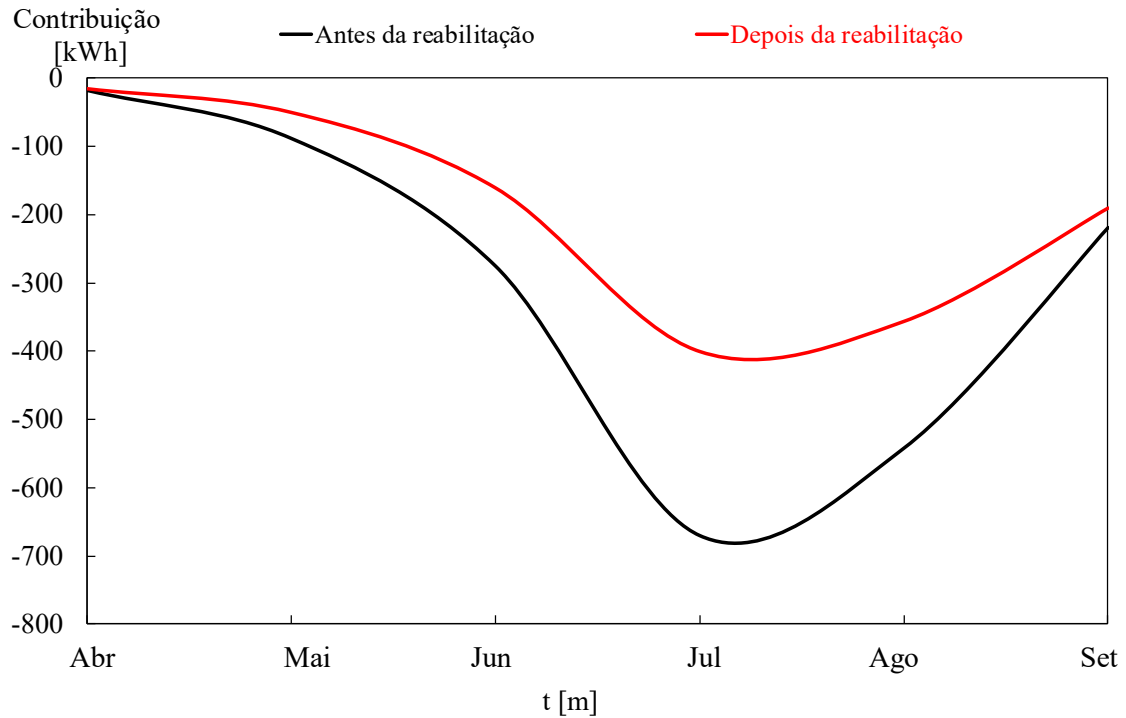


Figura 57 – Contribuição energética proveniente do ar condicionado na Escola Primária de Rio de Onor

Durante o período estudado o edifício antes da reabilitação necessitaria de um consumo médio de -302,17 kWh proveniente do ar condicionado, valor consideravelmente superior ao do edifício pós reabilitação, cenário que se atingiu uma média durante a mesma época de -195,63 kWh, o que traduz uma redução 35,26%. O pico atingindo, o qual ocorreu no mês de julho, no edifício original foi de -670,33 kWh enquanto no edifício reabilitado foi de -400,78 kWh.

Aprofundando a análise no projeto de reabilitação é possível, através da Figura 58, verificar os ganhos energéticos do edifício depois de reabilitado entre os meses de abril até setembro.

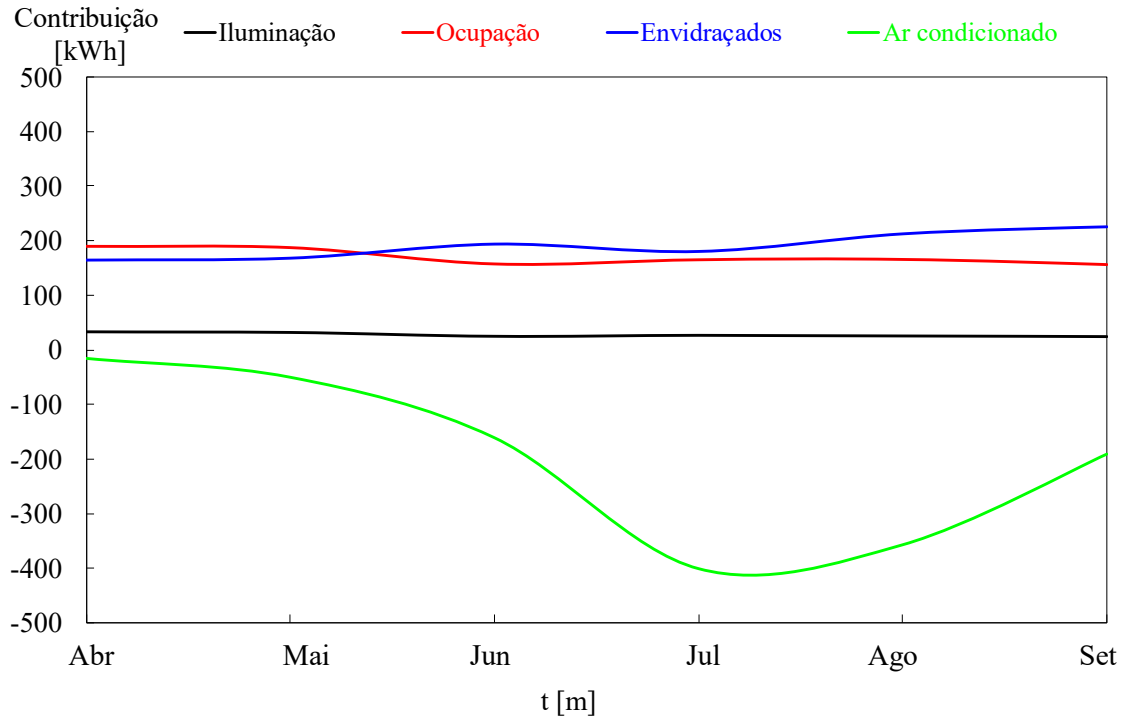


Figura 58 – Análise mensal dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Rio de Onor

É possível constatar que consumo energético através do ar condicionado sobe de acordo com o aumento da temperatura externa, como era esperado. Logo os ganhos por iluminação e ocupação mantem-se praticamente constantes enquanto os ganhos pelos envidraçados sofrem um aumento. O mês crítico é julho.

Aprofundando a análise neste mês, através da Figura 59 é possível observar os ganhos energéticos ao longo do mês.

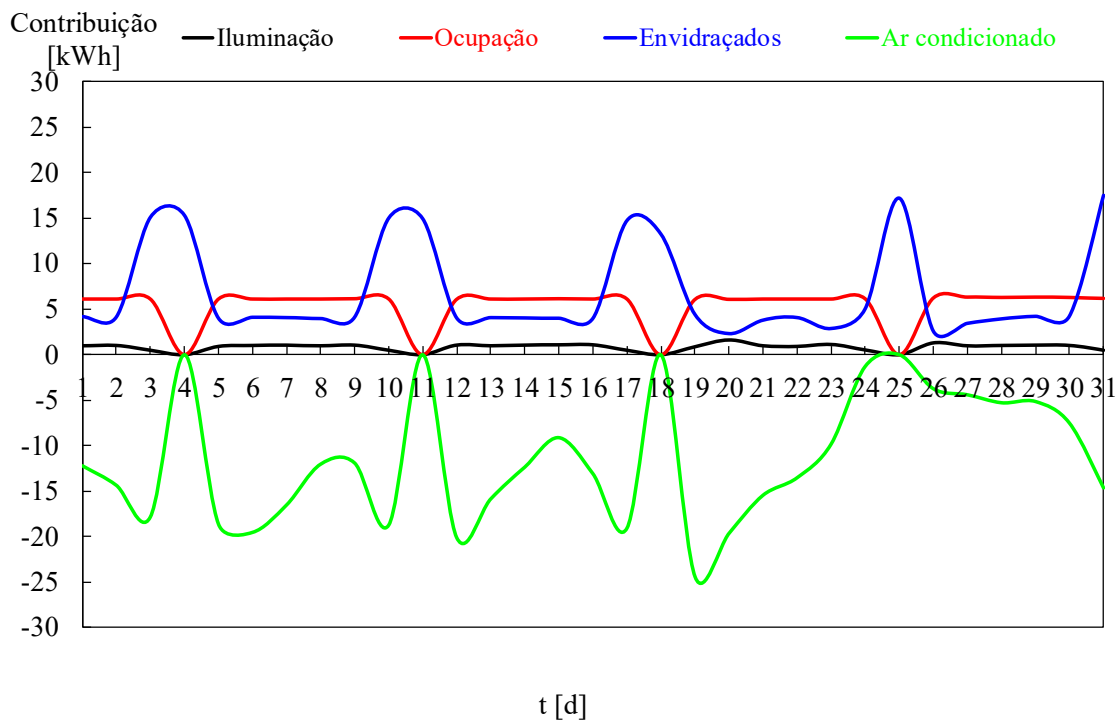


Figura 59 – Análise diária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Rio de Onor

Após os dias de não ocupação, onde ocorrem os principais ganhos solares, ocorrem também certos extremos de exigência energética proveniente do ar condicionado, devido a energia acumulada no edifício. Analisando o dia 19, no qual ocorreu o maior pico proveniente do sistema de arrefecimento, através da Figura 60 é possível perceber o desempenho do edifício durante as horas do dia.

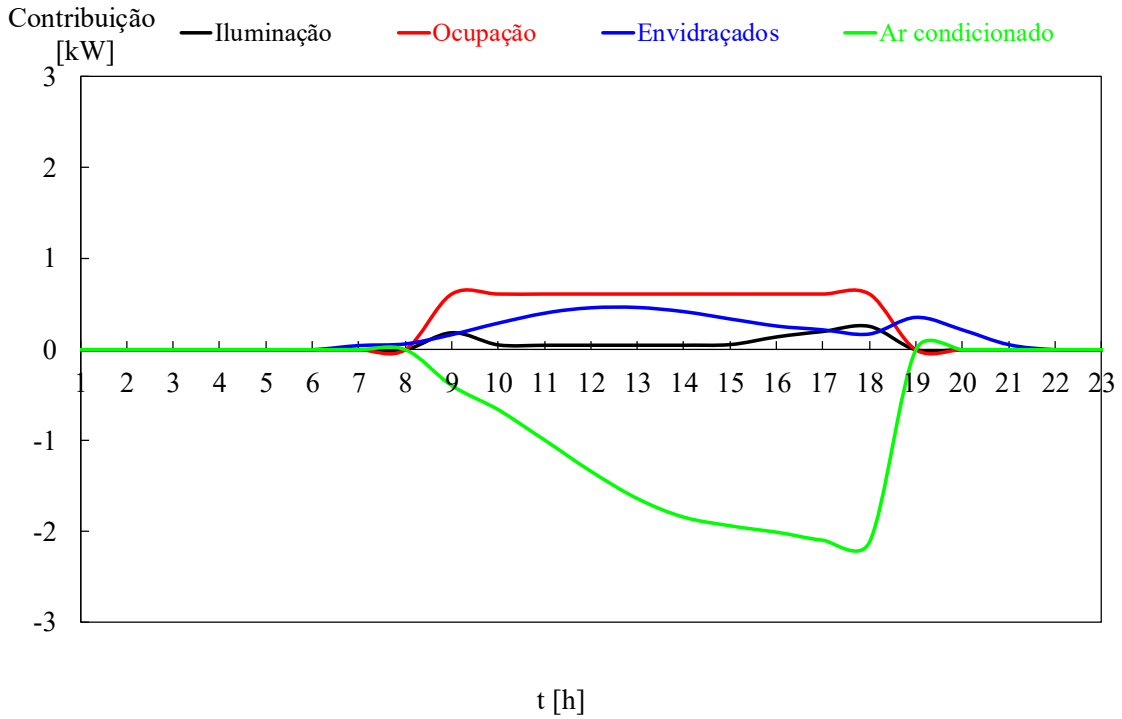


Figura 60 – Análise horária dos ganhos energéticos internos durante a época de arrefecimento na Escola Primária de Rio de Onor

A contribuição proveniente do sistema técnico de arrefecimento aumenta durante o dia para manter a temperatura interna apesar dos ganhos solares através dos envidraçados sofrerem apenas um pequeno aumento. Isto ocorre devido ao aumento da temperatura externa e das trocas de calor que ocorrem pelas envolventes exteriores do edifício com a área exterior. O dia estudado também apresenta temperaturas externas elevadas, o que impacta no consumo do ar condicionado.

CAPÍTULO 5.

Conclusões

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento deste trabalho foram analisados os projetos de reabilitação da Escola Primária de Cova da Lua e da Escola Primária de Rio de Onor. Para isto utilizou-se o *software DesignBuilder*, interface primária que utiliza o *EnergyPlus* para o cálculo energético e térmico de construções, tópicos que foram abordados nesta dissertação.

Evidenciou-se através das análises a importância do isolamento das envolventes e o impacto que isto causa no consumo de sistemas técnicos de aquecimento e arrefecimento, como salamandras e ar condicionados, ambos utilizados nos projetos estudados. A relevância da utilização dos sistemas de climatização para a manutenção de níveis térmicos agradáveis nos edifícios traz consigo a importância do correto isolamento do edifício, só assim sendo possível uma utilização saudável destes sistemas ativos.

Durante a análise da Escola Primária de Cova da Lua, tanto do projeto original quanto do projeto de reabilitação e modelos feitos através de derivações deste projeto, constatou-se o impacto energético que o sistema parede de trombe traz ao edifício, sendo notado uma diminuição do desempenho energético do mesmo no modelo em que a parede de inércia do sistema parede de trombe não existia. Não se pode estimar ao certo os benefícios ou desvantagens que a parede verde traz a construção em termos energéticos devido ao fato do *software* utilizado não possuir um modelo validado para esta análise, sendo os resultados encontrados diferentes do esperado.

Destaca-se o fato do modelo de reabilitação de Cova da Lua, apesar da área superior ao modelo original da escola, apresentar uma exigência energética proveniente do sistema de aquecimento 40,88% inferior em comparação ao modelo original. Já na análise durante a época de arrefecimento o modelo de reabilitação precisou de 23,33% a mais de contribuição do sistema de climatização.

Através das análises realizadas sobre a Escola Primária de Rio de Onor foi verificado a importância da correta orientação das fachadas e do impacto que isto pode vir a causar nos ganhos internos e, conseqüentemente, no desempenho energético do edifício. A orientação correta dos envidraçados para otimizar os ganhos solares na região de estudo sendo a sul, fator que pode vir a mudar de acordo com a região na qual pretende-se construir.

O projeto de reabilitação da Escola Primária de Rio de Onor, por ter sido idealizado sobre a premissa da manutenção das fachadas para a preservação histórica do

edificado, acaba minando grandes mudanças e adoções de possíveis estratégias passivas mais elaboradas que pudessem trazer melhorias no desempenho energético do edifício.

Para a época de aquecimento o modelo de reabilitação precisou de uma contribuição 65,78% do sistema de aquecimento. Durante a época de arrefecimento a redução foi de 35,26%.

A utilização de materiais bioclimáticos nas envolventes, como já constatado anteriormente, os quais realizam o isolamento das envolventes, impactam de forma significativamente positiva no desempenho energético do edifício.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A necessidade da continuação de estudos nesta área é evidente. As obrigatoriedades legislativas e a busca pela utilização correta dos recursos e impactos que as obras em geral trazem consigo impulsionam a construção civil para um desempenho mais eficaz.

A respeito deste tema estudado recomenda-se as seguintes futuras pesquisas:

- Realização de ensaios práticos através de equipamentos de medição térmica e afins em um momento em que as Escolas Primárias de Cova da Lua e Rio de Onor estejam em funcionamento;
- Caracterização precisa dos benefícios obtidos através da parede verde através de ensaios no local ou de *software* com um modelo válido desta solução passiva;
- Estudos de outras soluções passivas através de casos reais encontrados na região.

Este tema oferece incontáveis outras possibilidades de estudos e vivencia um crescimento na comunidade académica durante os últimos anos. Novas técnicas e tecnologias devem ser desenvolvidas e estudadas para que cada vez mais material esteja disponível para que, com as corretas tomadas de decisão de projeto, os edifícios se adequem a uma postura bioclimática.

CAPÍTULO 6.

Referências

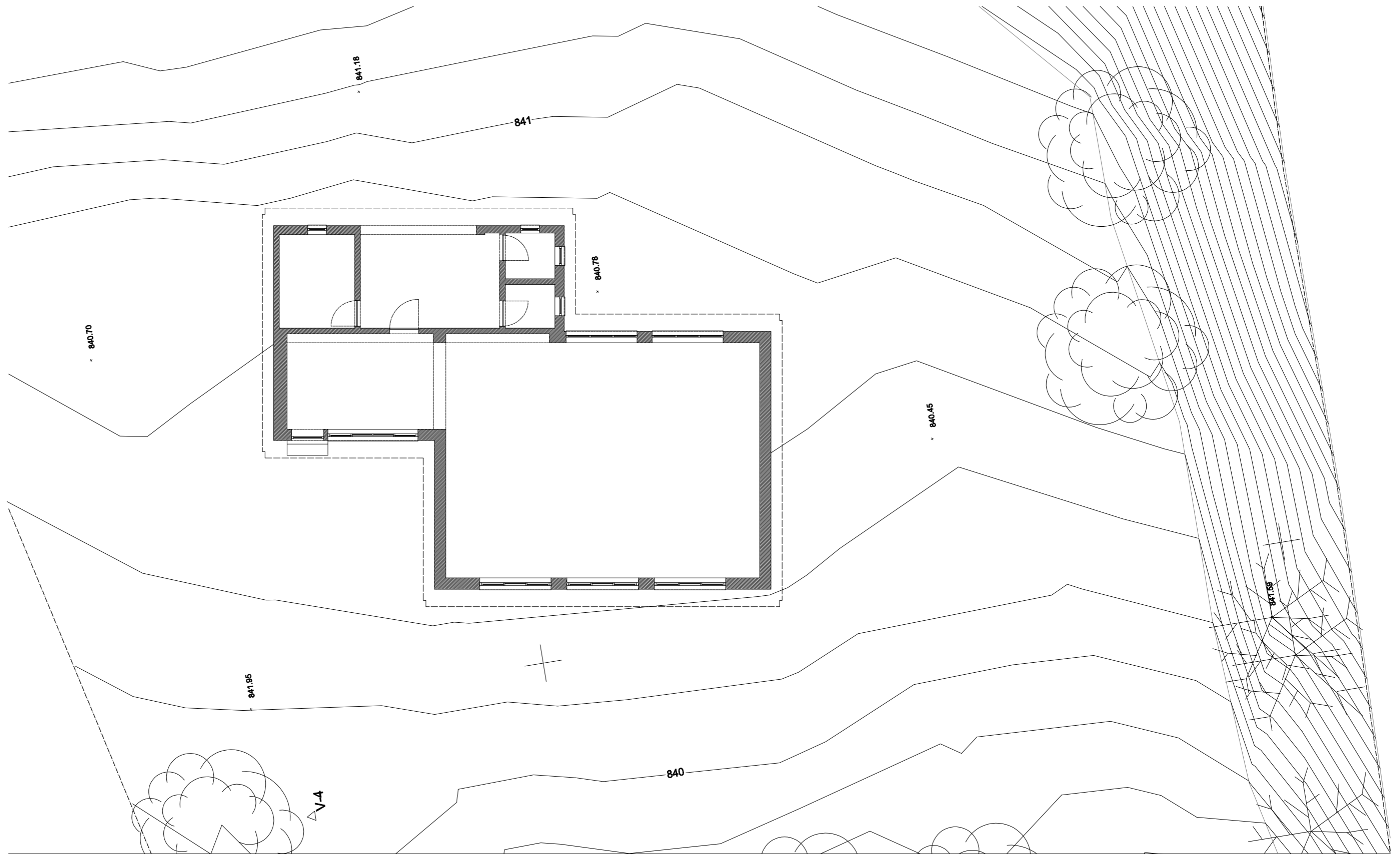
Referências:

- [1] A. M. G. D. Ganhão, “Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habita,” 2011.
- [2] E. Luso and D. R. de S. M. Ferreira, “Exemplos de soluções bioclimáticas existentes na construção tradicional da região reansfronteira norte de Portugal, Castela e Leão,” no. April, 2014.
- [3] D. Chwieduk, “Towards sustainable-energy buildings,” *Appl. Energy*, vol. 76, no. 1–3, pp. 211–217, 2003.
- [4] Redes Energéticas Nacionais, “Dados Técnicos,” 2018.
- [5] A. de E. R. APREN, “Boletim Energias Renováveis,” 2018.
- [6] A. J. F. Vaz, D. R. de S. M. Ferreira, E. C. P. Luso, and S. M. A. Fernandes, *Manual BIOURB - Manual para a conservação e reabilitação da diversidade bioconstrutiva*. 2013.
- [7] C. Silva, “Reabilitação nos centros históricos face à bioclimática : um caso de estudo em Santa Maria da Feira,” 2015.
- [8] H. Gonçalves and J. M. Graça, *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. 2004.
- [9] A. F. S. M. Martins, “Contributo do Projeto Bioclimático para a Sustentabilidade do Edifício,” 2015.
- [10] R. F. M. da S. Mateus, “Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção,” *Benchmarking*, 2004.
- [11] L. D. da Silva, “Impacto das Formas Urbanas no Desempenho Térmico dos Edifícios segundo o Método do RCCTE,” 2009.
- [12] P. M. Ferreira, “Alterações climáticas e desenvolvimento,” 2017.
- [13] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 1992: The IPCC 1990 and 1992 Assessments*. 1992.
- [14] Parlamento Europeu, “Directiva 2010/31/UE,” *J. Of. da União Eur.*, pp. 13–35, 2010.
- [15] Ministério da Economia e do Emprego, “Decreto-Lei n.º 118/2013,” 2013.
- [16] ADENE, “Eficiência Energética nos Edifícios,” 2019. .
- [17] ADENE, “Estatística do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios,” 2019. .
- [18] J. Gonçalvez and K. Bode, *Edifício Ambietal*. 2015.

- [19] J. P. P. Guerra, “A Sustentabilidade Aplicada ao Projecto de Reabilitação de Edifícios - Um Caso de Estudo,” 2013.
- [20] M. G. Bachmann, “Reabilitação sustentável da Baixa Pombalina,” 2009.
- [21] R. Lamberts, L. Dutra, and F. O. R. Pereira, “Eficiência Energética na Arquitetura.” 2014.
- [22] A. Lanham, P. Gama, and R. Braz, “Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro,” *Semin. Inovação IST Lisboa*, 2004.
- [23] C. Durão, “Reabilitação sustentável - Introdução de Metodologias e Estratégias Sustentáveis.,” *Diss. Mestr. em Arquitetura Inter.*, 2013.
- [24] D. da Republica, “Despacho n.º 15793-K/2013,” no. 58, pp. 58–87, 2013.
- [25] M. A. P. da S. Amaral, “Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação,” p. 355, 2008.
- [26] M. P. Marcondes, “Soluções Projetuais de Fachadas para Edifícios de Escritórios com Ventilação Natural em São Paulo,” 2010.
- [27] F. Moita, *Energia Solar Passiva*. 1987.
- [28] IEE, “Na direcção de casas passivas Mecanismos de apoio ao desenvolvimento do mercado de casas passivas,” 2007.
- [29] A. C. Briga de Sá, “Parede de Trombe: Análise Experimental e Simulação de Desempenho Térmico.,” 2011.
- [30] “Blog Entry 4 – Passive heating and the trombe wall,” 2013. .
- [31] F. M. C. B. de F. dos Santos, “Estratégias de Reabilitação e Sustentabilidade, caso de estudo: Bairro Alto,” 2010.
- [32] H. USED, “Thermal Mass Explained,” *Wookware.Org*, 2012.
- [33] L. M. G. N. Nunes, “Eficiência energética de edifícios: Contributo dos PCMs e Parede Trombe,” 2011.
- [34] J. F. da C. Sirgado, “Análise do impacte dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios.,” 2010.
- [35] C. M. C. Sabino, “Integração do método SLR na norma ISO 13790 : o caso das estufas,” 2012.
- [36] Green Passive Solar Magazine, “Passive Solar Sun Room,” 2010. [Online]. Available: <https://greenpassivesolar.com/2010/05/passive-solar-sunroom/>.
- [37] D. M. Ferreira, S. Fernandes, E. Luso, and J. Vaz, “Soluções Bioclimáticas da Arquitetura Vernacular na Região Transfronteiriça entre Bragança e Castela-Leão,” *Atas do Semin. reVer*, 2015.

- [38] F. D. N. Caetano, “Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios,” 2014.
- [39] D. D. de O. Morelli, “Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática,” *Univ. ESTADUAL CAMPINAS Fac. Eng. Civil, Arquitetura e Urban.*, 2016.
- [40] C. S. A. da Costa, “Edifício e espaço de transição,” 2016.
- [41] S. W. Peck and C. Callaghan, “Greenbacks from Green Roofs: Forging a new industry in Canada,” *Canada Mortgage Hous. Corp.*, no. March, pp. 1–78, 1999.
- [42] I. L. Ferraz, “O Desempenho Térmico De Um Sistema De Cobertura Verde Em Comparação Ao Sistema Tradicional Cobertura Cerâmica,” 2012.
- [43] A. P. Melo, F. S. Westphal, and M. Matos, *Apostila do curso básico do programa EnergyPlus*. 2009.
- [44] M. F. C. C. da Costa, “Aplicação do DesignBuilder à avaliação de soluções de aquecimento e arrefecimento de edifícios para diferentes zonas climáticas portuguesas,” 2013.
- [45] D. Ibarra and C. Reinhart, “Building Performance Simulation for Designers - Energy.” 2009.
- [46] DesignBuilder, “DesignBuilder: User’s Manual,” no. October, 2009.
- [47] DOE U.S. Department of Energy, “EnergyPlus v8.3.0 documentation: Getting started with EnergyPlus.” 2015.
- [48] D. Ferreira, E. Luso, S. Fernandes, and J. F. Vaz, “Relatório de avaliação das necessidades de reabilitação energética e bioconstrutiva - Escola Primária de Cova da Lua.”
- [49] D. Ferreira, E. Luso, S. Fernandes, and J. F. Vaz, “Relatório de avaliação das necessidades de reabilitação energética e bioconstrutiva - Escola Primária de Rio de Onor.”
- [50] HMG Arquitectura, “Projeto de reabilitação das escolas primárias de Cova da Lua e Rio de Onor.”

**ANEXO I – PROJETO ORIGINAL DA ESCOLA
PRIMÁRIA DE COVA DA LUA**



Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

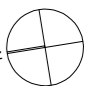
AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 08467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I



Planta de Piso

Arquitectura - Existente

Data: Janeiro 2019

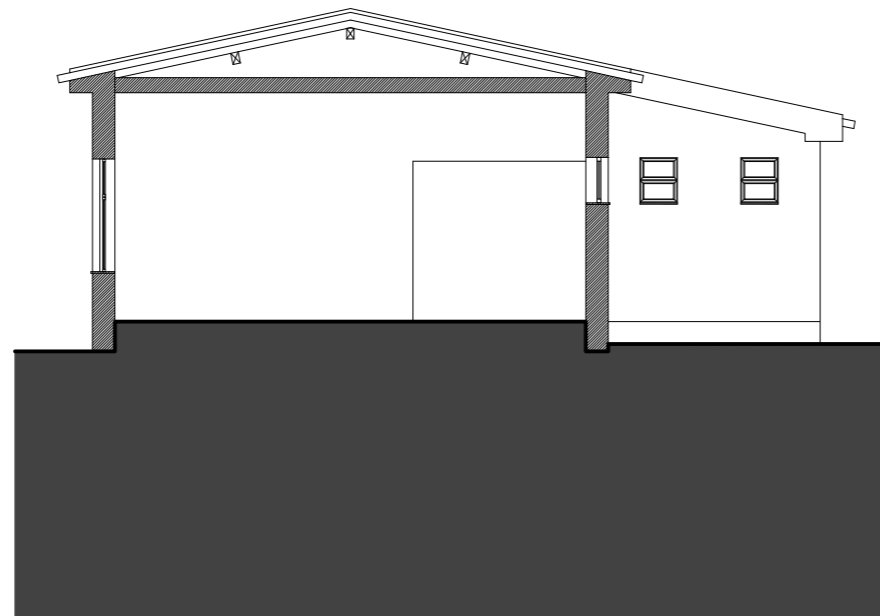
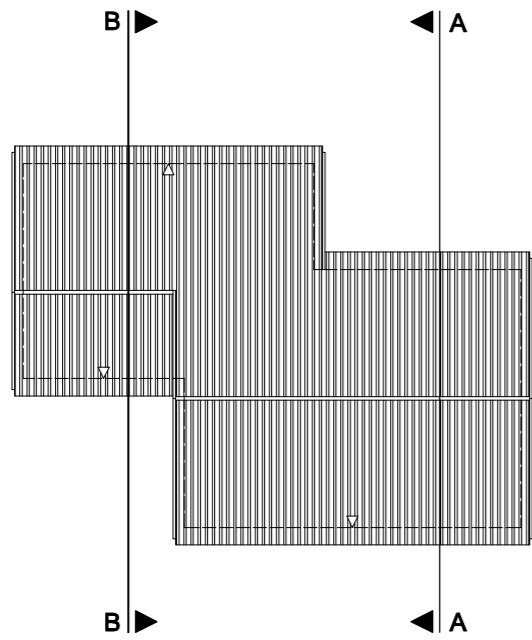
Escala: 1 / 100

Desenho: 04A

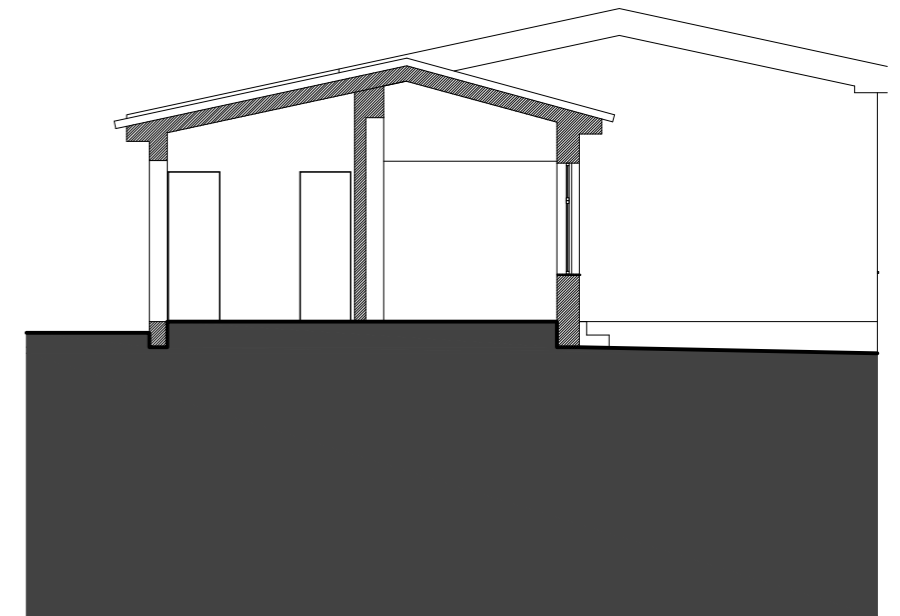
Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Cova de Lua, Bragança

Obs:
O acesso aos edifícios foi condicionado pelas condições de segurança dos mesmos, não permitindo um levantamento do existente exacto, deve o mesmo ser retificado aquando o início de obra.



Corte AA



Corte BB

Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 06467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I

Corte AA / BB

Arquitectura - Existente

Data: Janeiro 2019

Escala: 1 / 100

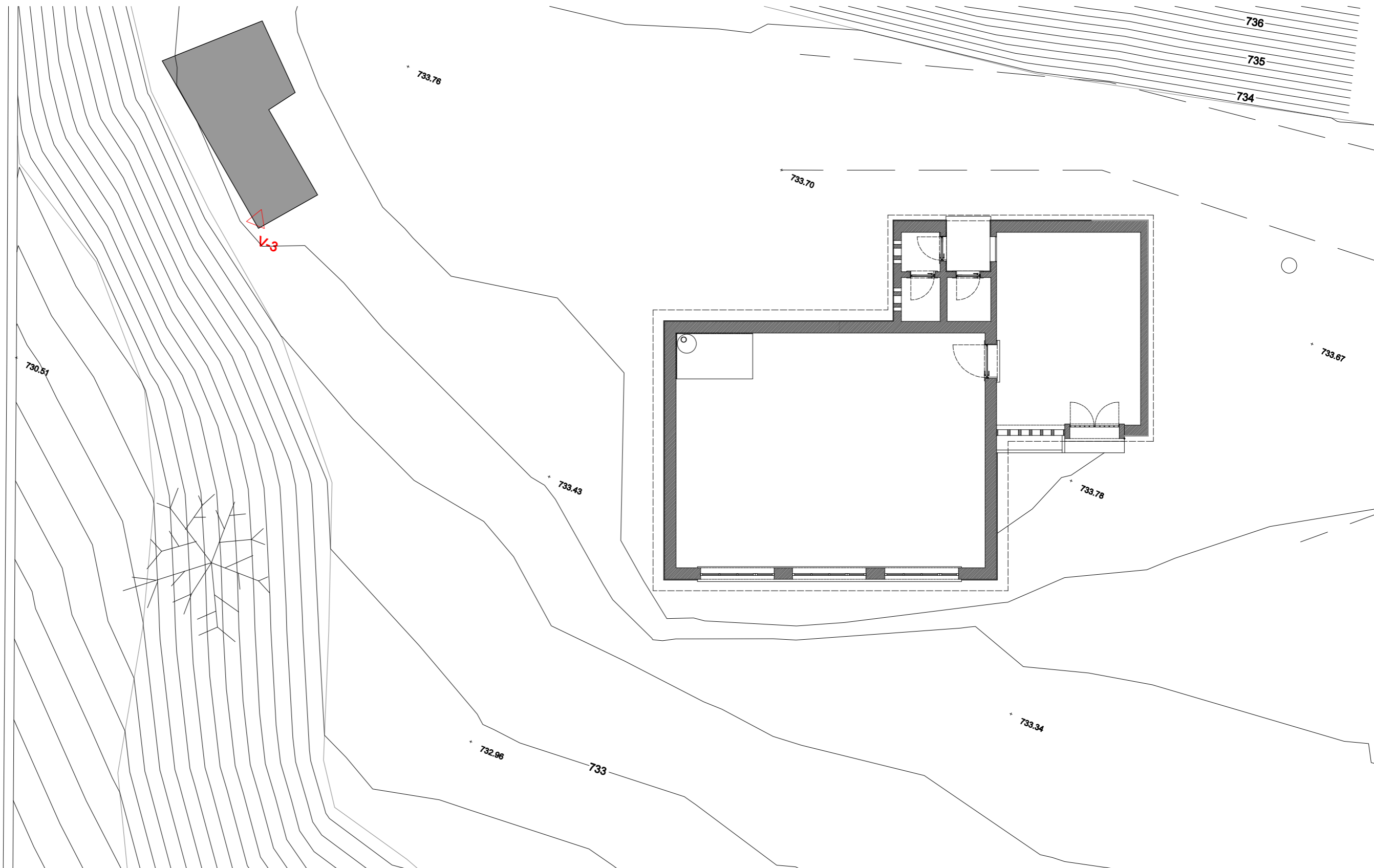
Desenho: 07A

Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Cova de Lua, Bragança

Obs:
O acesso aos edifícios foi condicionado pelas condições de segurança dos mesmos, não permitindo um levantamento do existente exacto, deve o mesmo ser retificado aquando o início de obra.

**ANEXO II – PROJETO ORIGINAL DA ESCOLA
PRIMÁRIA DE RIO DE ONOR**



Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 08467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I



Planta de Piso

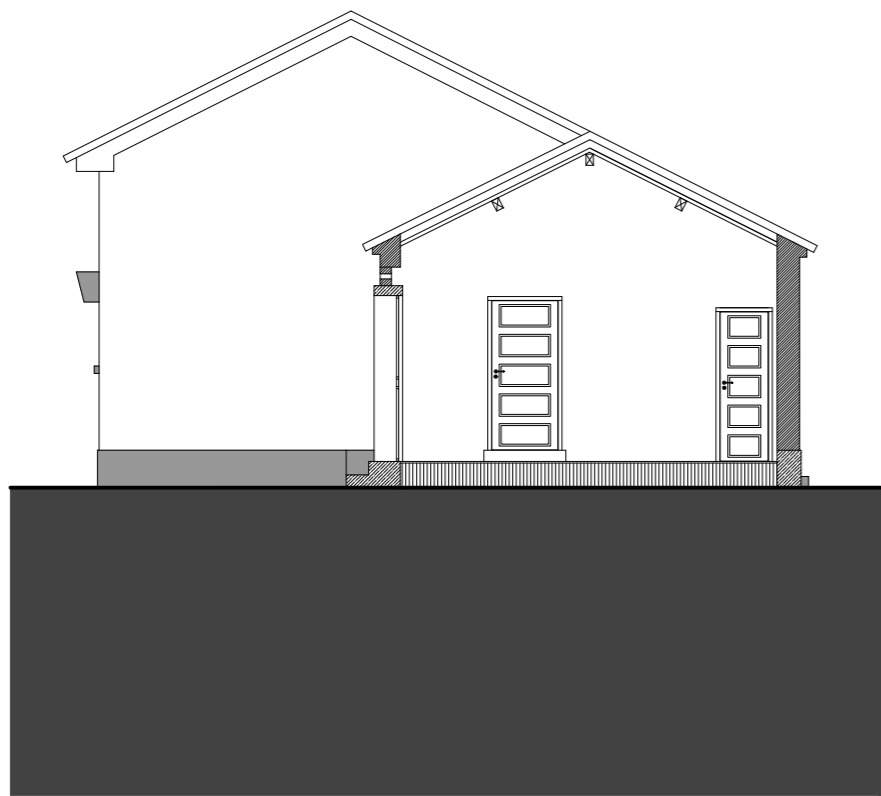
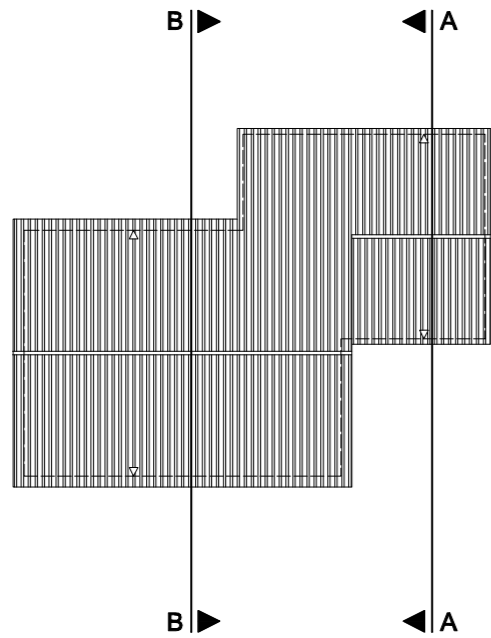
Arquitectura - Existente

Data: Janeiro 2019 Escala: 1 / 100 Desenho: 04A

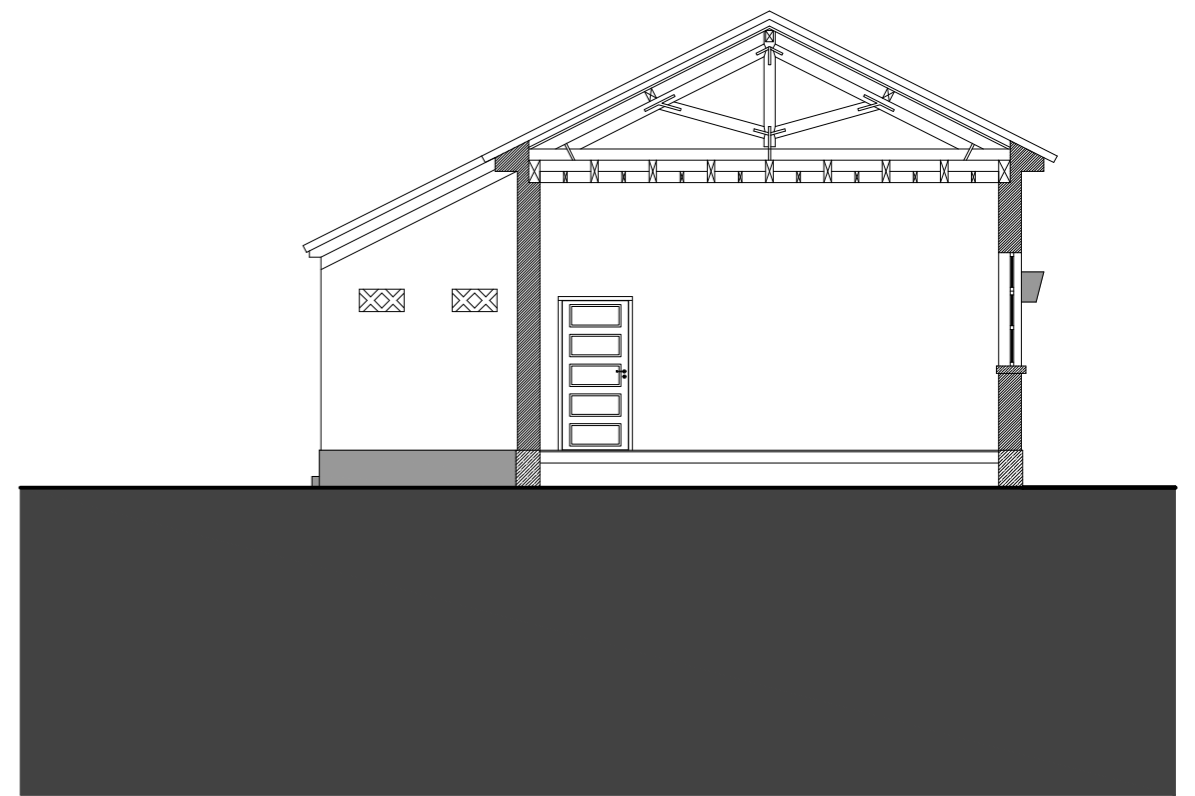
Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Rio de Onor, Bragança

Obs:
O acesso aos edifícios foi condicionado pelas condições de segurança dos mesmos, não permitindo um levantamento do existente exacto, deve o mesmo ser retificado aquando o início de obra.



Corte AA



Corte BB

Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 06467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I

Corte AA / Corte BB

Arquitectura - Existente

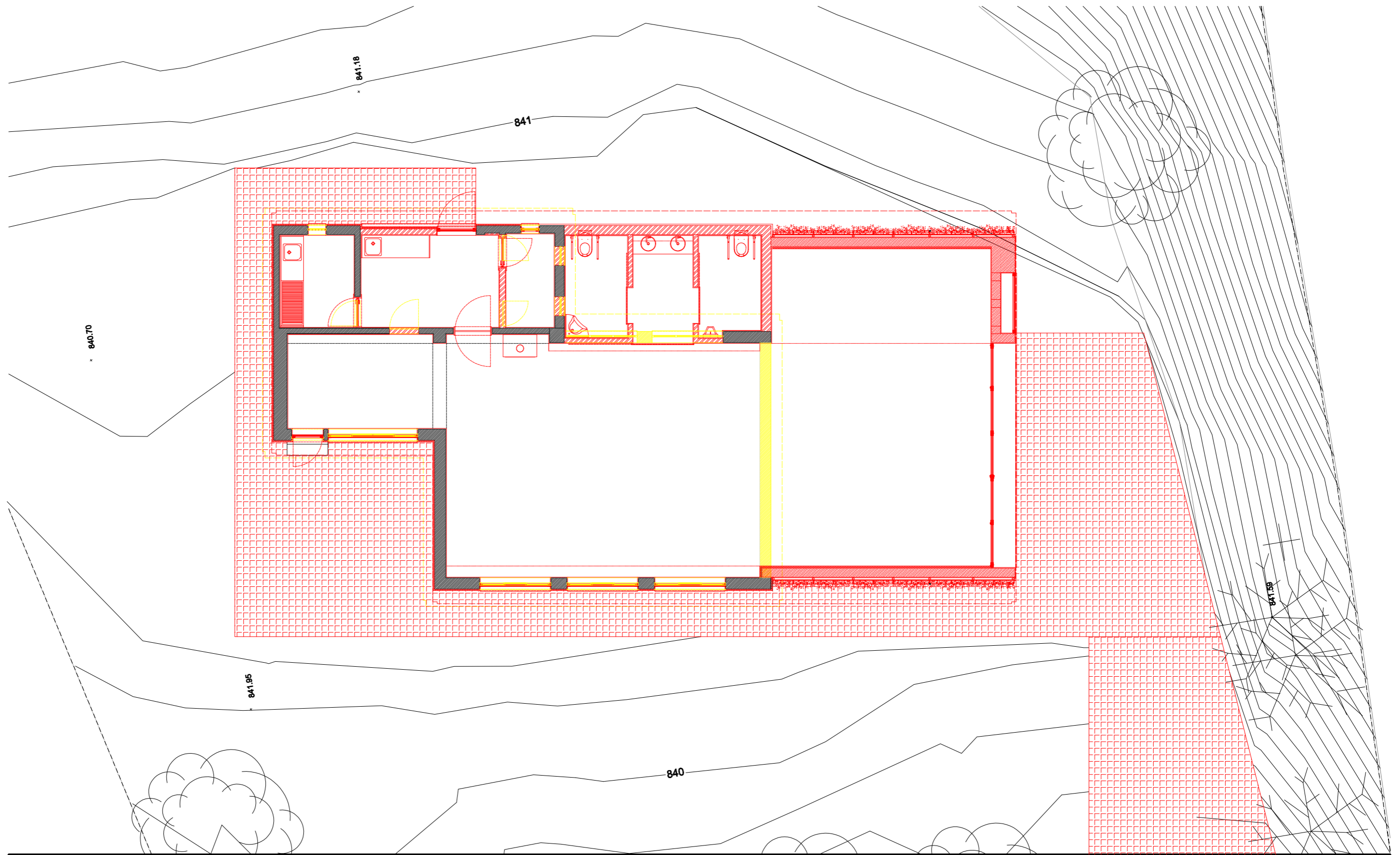
Data: Janeiro 2019 Escala: 1 / 100 Desenho: 07A

Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Rio de Onor, Bragança

Obs:
O acesso aos edifícios foi condicionado pelas condições de segurança dos mesmos, não permitindo um levantamento do existente exacto, deve o mesmo ser retificado aquando o início de obra.

**ANEXO III – PROJETO DE REABILITAÇÃO DA
ESCOLA PRIMÁRIA DE COVA DA LUA**

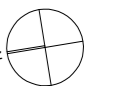


Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 06467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO

- MANTER
- DEMOLIR
- CONSTRUIR



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I

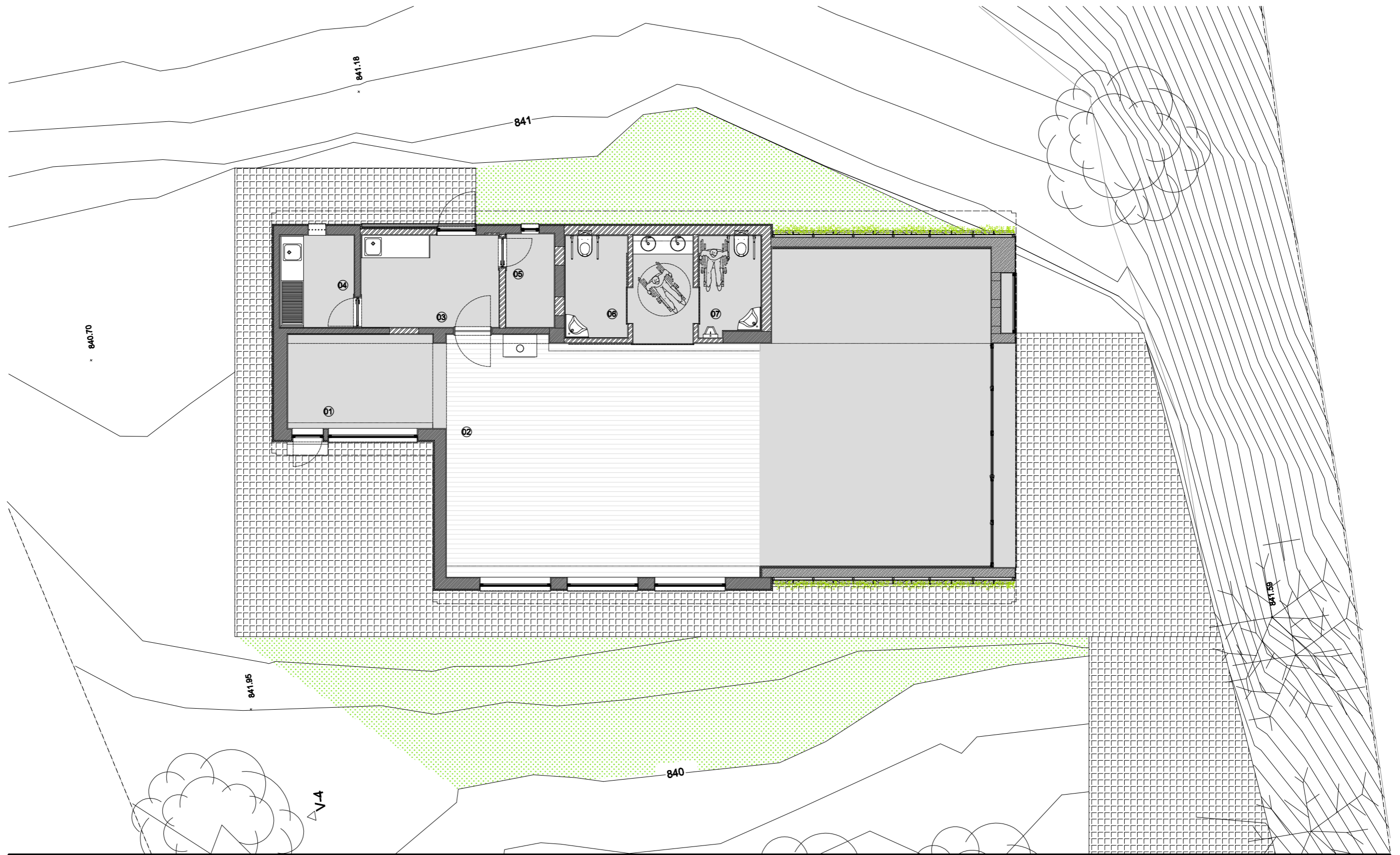
Planta de Piso

Arquitectura - Vermelhos / Amarelos

Data: Janeiro 2019 Escala: 1 / 100 Desenho: 02VA

Requerente: Câmara Municipal de Bragança
Localização: Aldeia de Cova de Lua, Bragança

Obs:



Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 06467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO

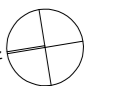


I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I

- | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|
| | EXISTENTE | 01 - ENTRADA |
| | BETÃO ARMADO | 02 - SALA DE CONVÍVIO |
| | TIJOLO TERMOACÚSTICO | 03 - COPA |
| | ETICS EPS | 04 - COZINHA |
| | GRANITO "PEDRAS SALGADAS" | 05 - ÁREA TÉCNICA/ARRUMOS |
| | CUBOS DE GRANITO | 06 - INST. SANITÁRIA FEM. |
| | ZONA VERDE | 07 - INST. SANITÁRIA MAS. |

Obs:



Planta de Piso

Arquitectura - Proposto

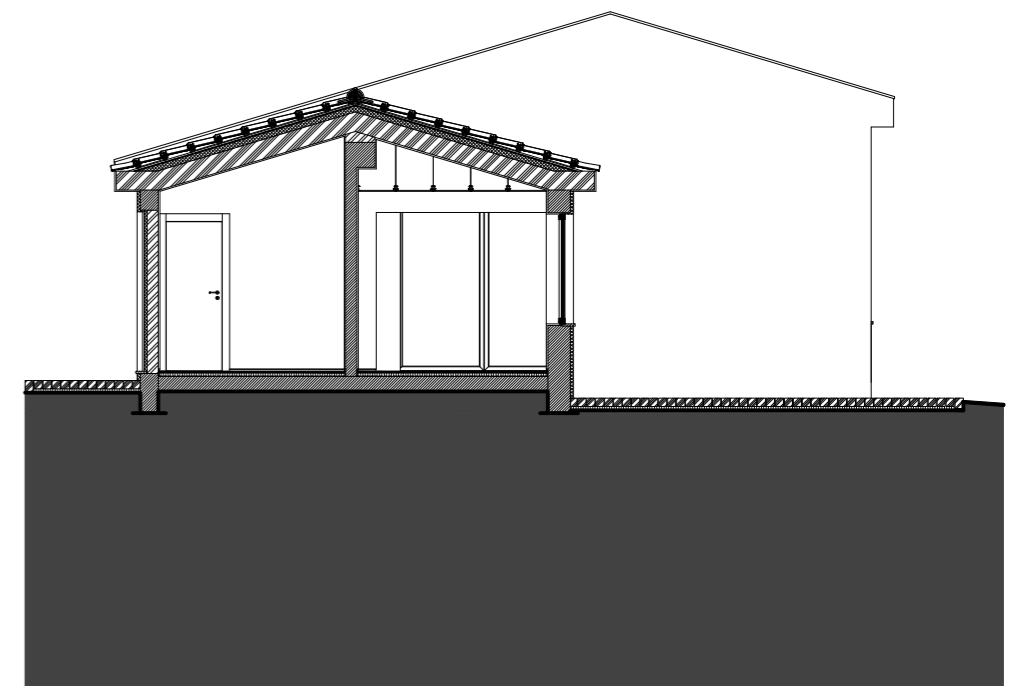
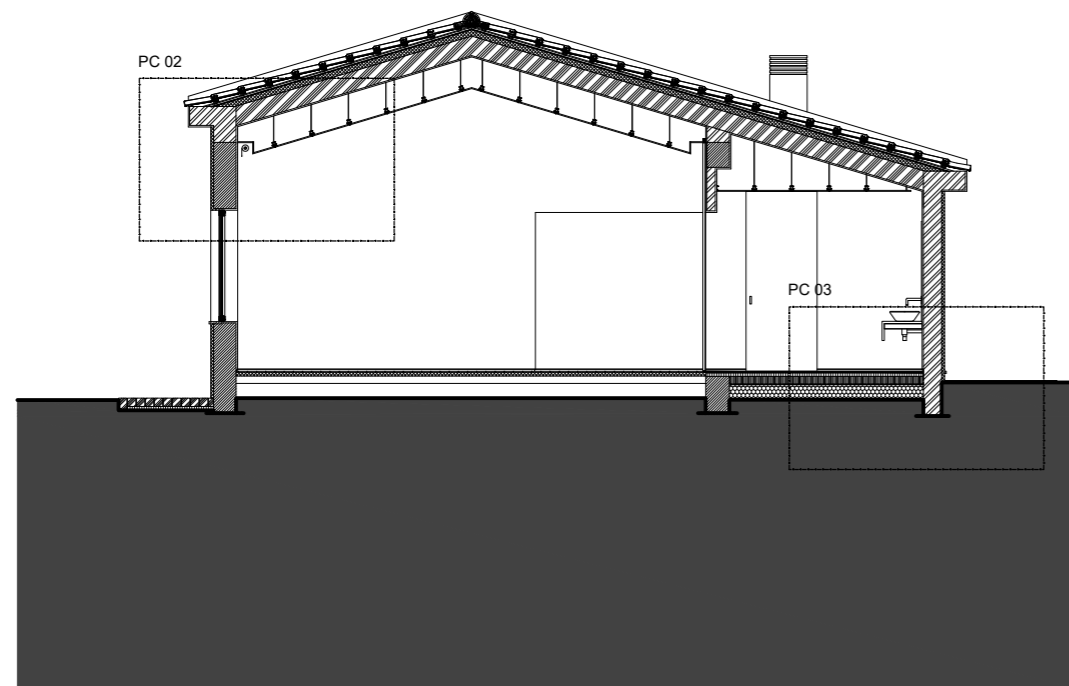
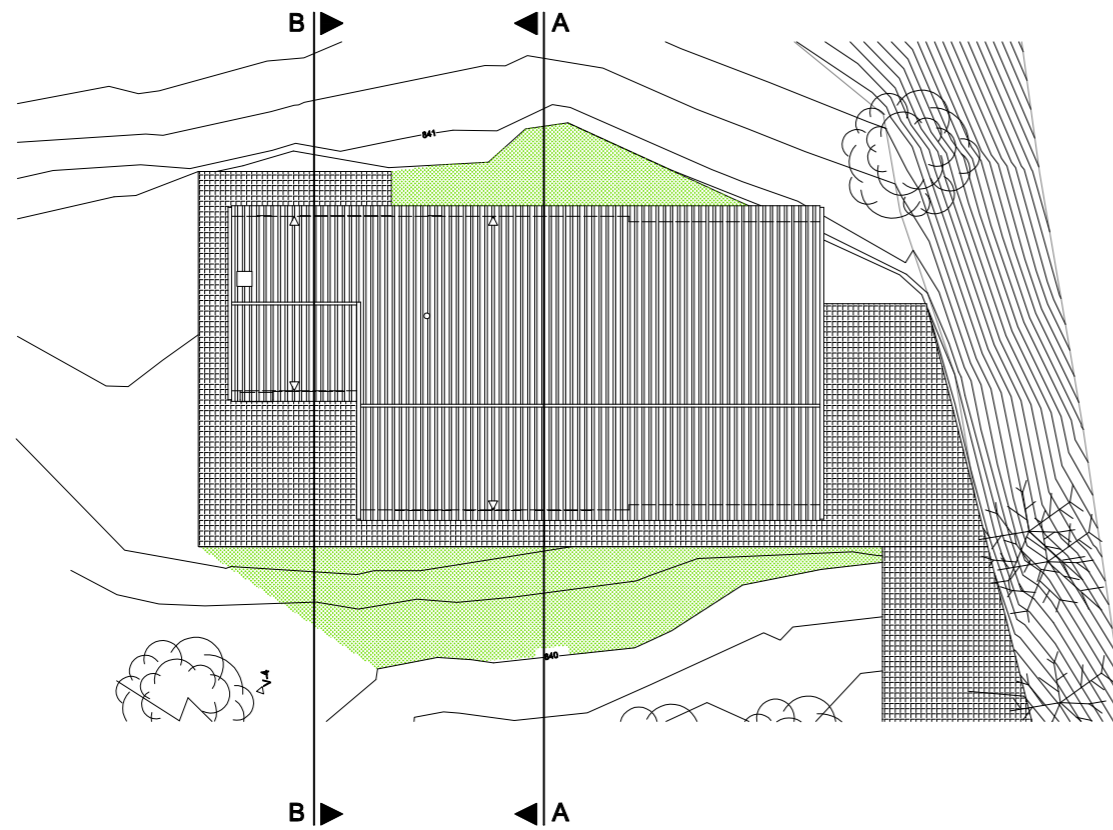
Data: Janeiro 2019

Escala: 1 / 100

Desenho: 10A

Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Cova de Lua, Bragança



Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 08467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I

Corte AA / Corte BB

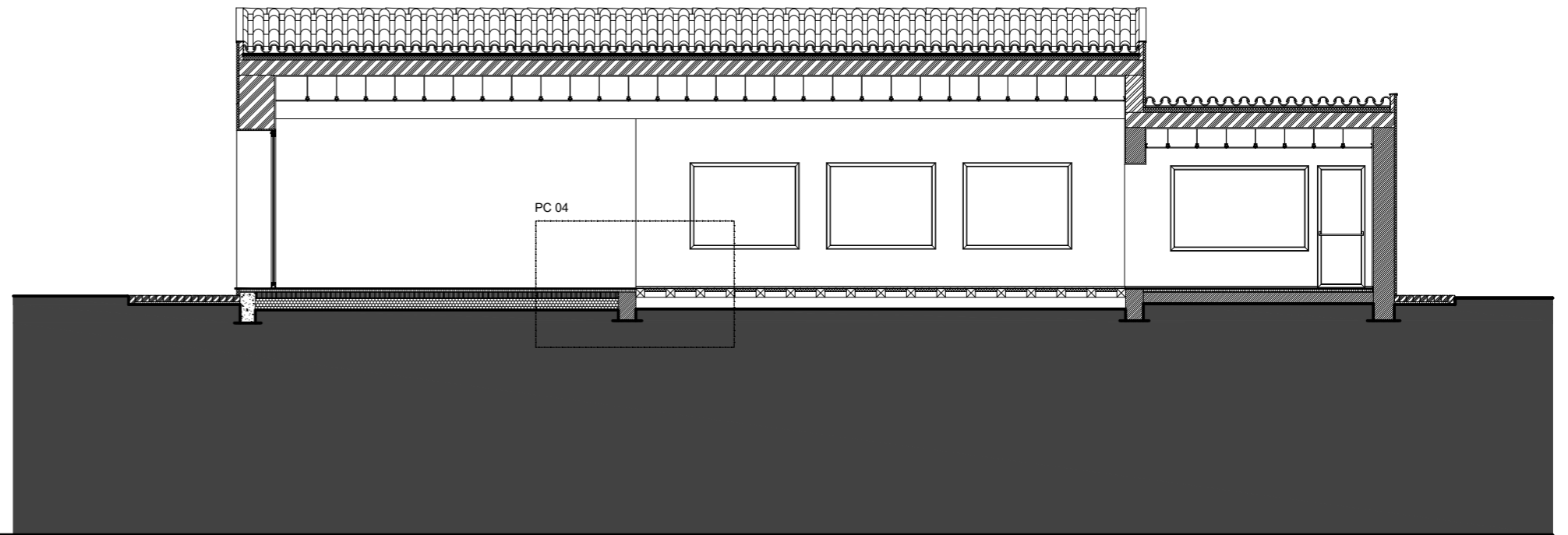
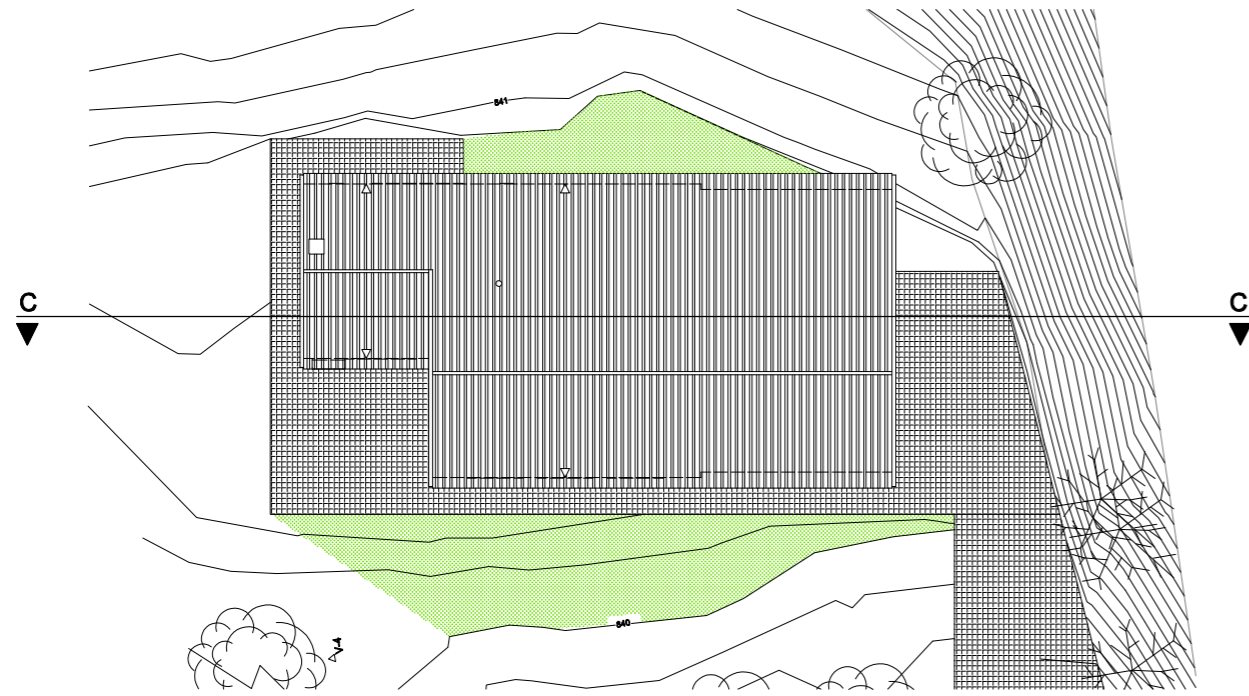
Arquitectura - Proposto

Data: Janeiro 2019 Escala: 1 / 100 Desenho: 16A

Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Cova de Lua, Bragança

Obs:



Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 06467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I

Corte CC

Arquitectura - Proposto

Data: Janeiro 2019

Escala: 1 / 100

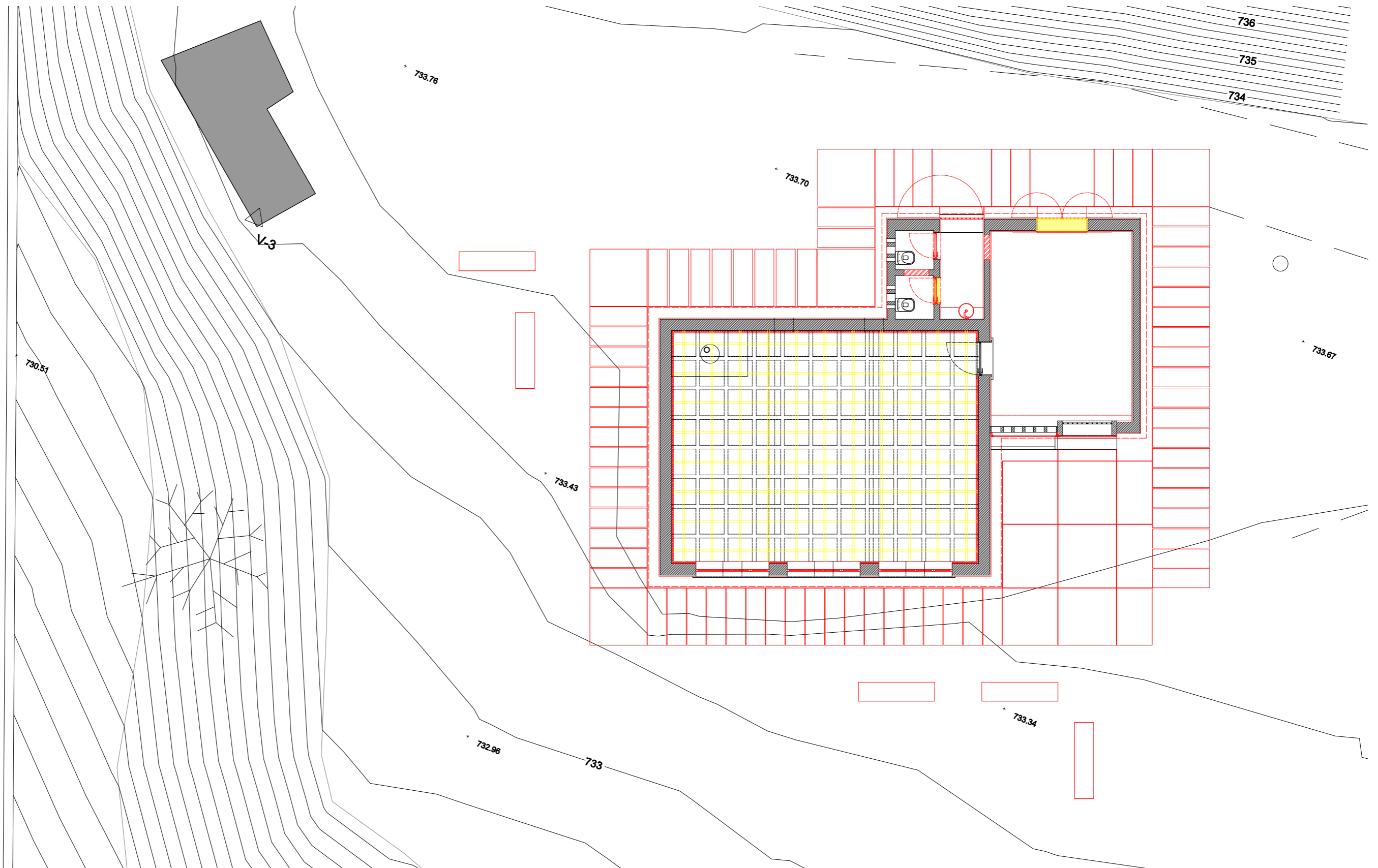
Desenho: 17A

Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Cova de Lua, Bragança

Obs:

**ANEXO IV – PROJETO DE REABILITAÇÃO DA
ESCOLA PRIMÁRIA DE RIO DE ONOR**



Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 06467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG | ARQUITECTURA |

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança | T: 273 328 632 f: 273 328 633 | info@hmg.com.pt |

- MANTER
- DEMOLIR
- CONSTRUIR

Obs:

Planta de Piso

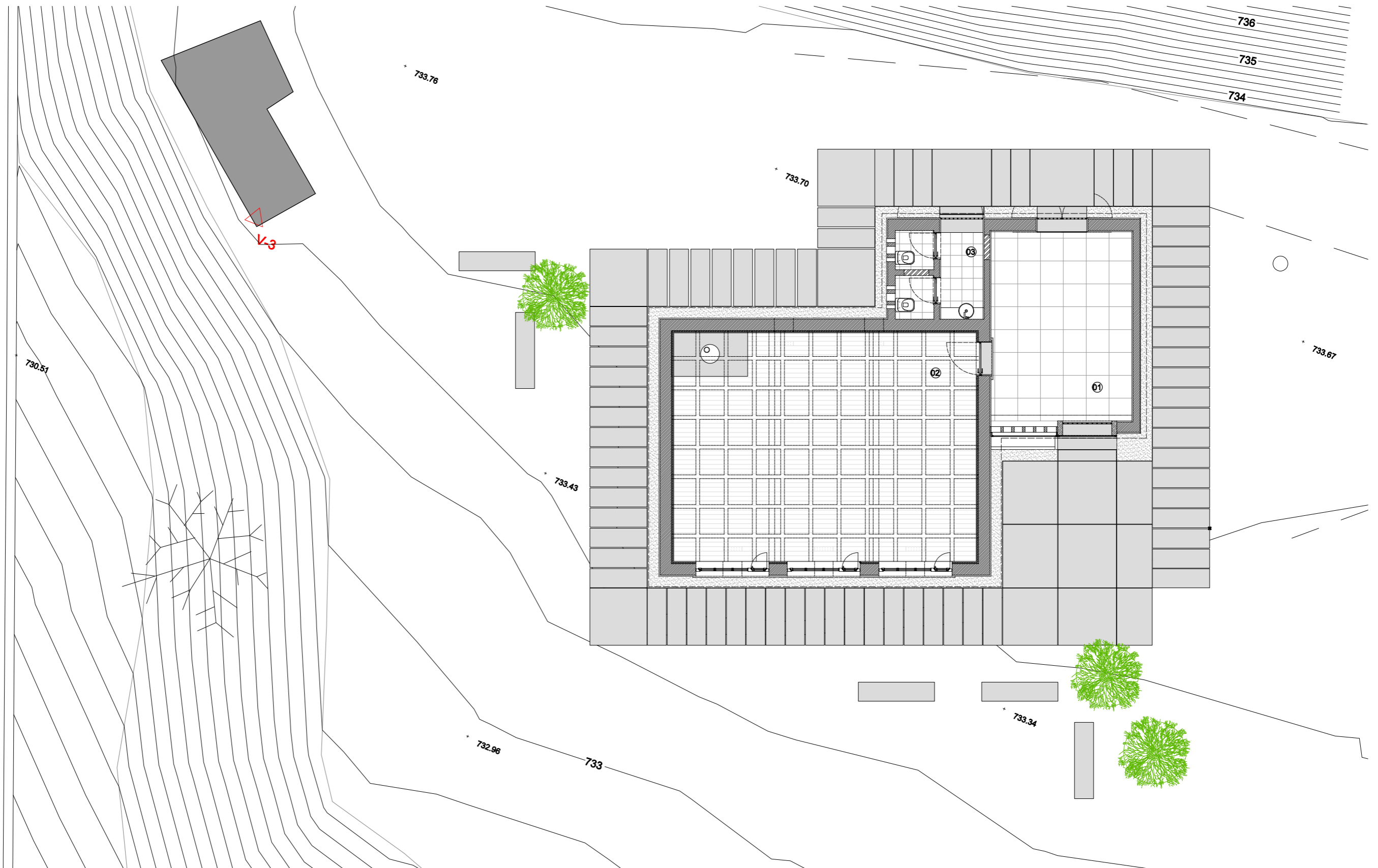
Arquitectura - Vermelhos / Amarelos

Data: Janeiro 2019

Escala: 1 / 100 Desenho: 02VA

Requerente: Câmara Municipal de Bragança





Localização: Aldeia de Rio de Onor, Bragança



Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 06467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO

-  EXISTENTE
 -  TIJOLO TRADICIONAL
 -  PEDRA EXISTENTE
 -  PLACA DE GRANITO
- 01 - ENTRADA
 - 02 - SALA POLIVALENTE
 - 03 - INST. SANITÁRIA



Planta de Piso

Arquitectura - Proposto

Data: Janeiro 2019 Escala: 1 / 100 Desenho: 10A

Requerente: Câmara Municipal de Bragança

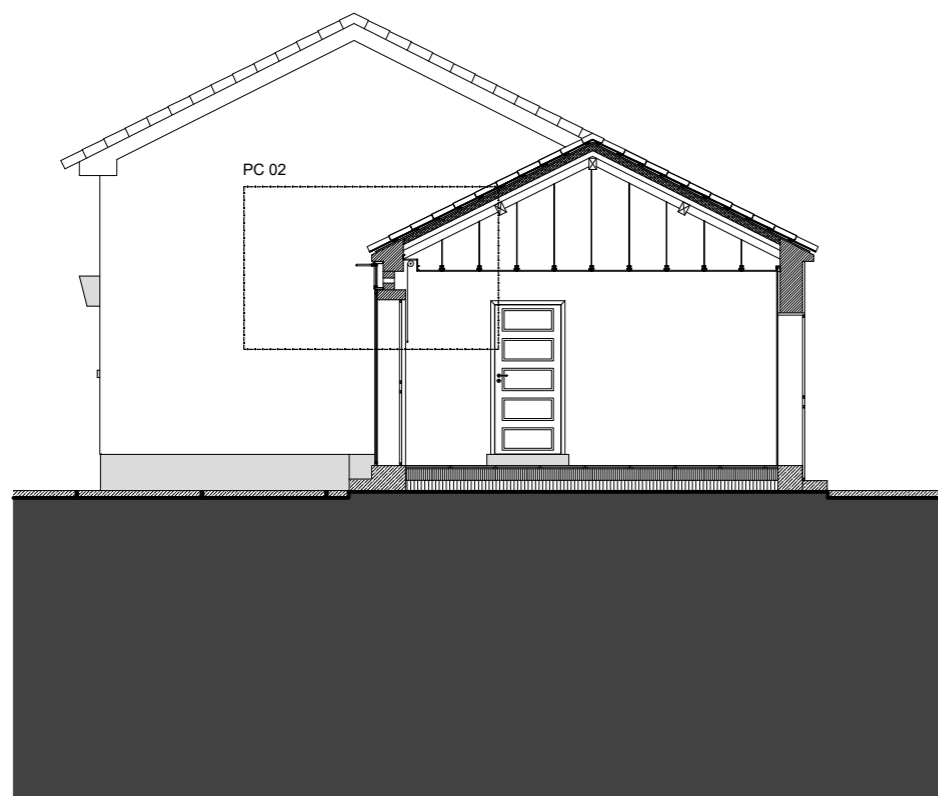
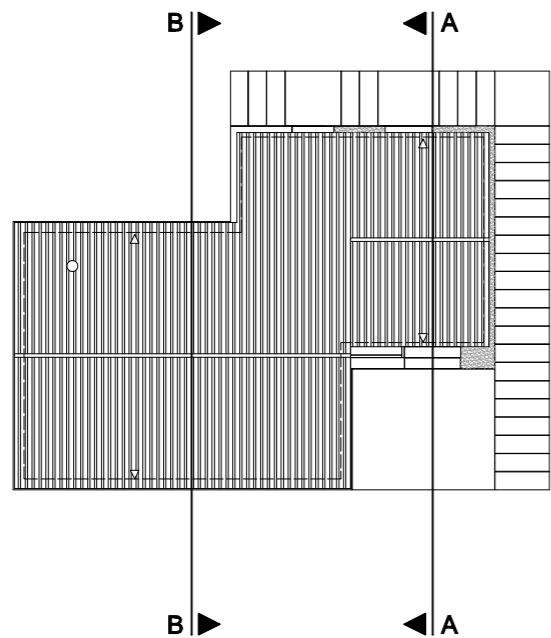
Localização: Aldeia de Rio de Onor, Bragança

Obs:

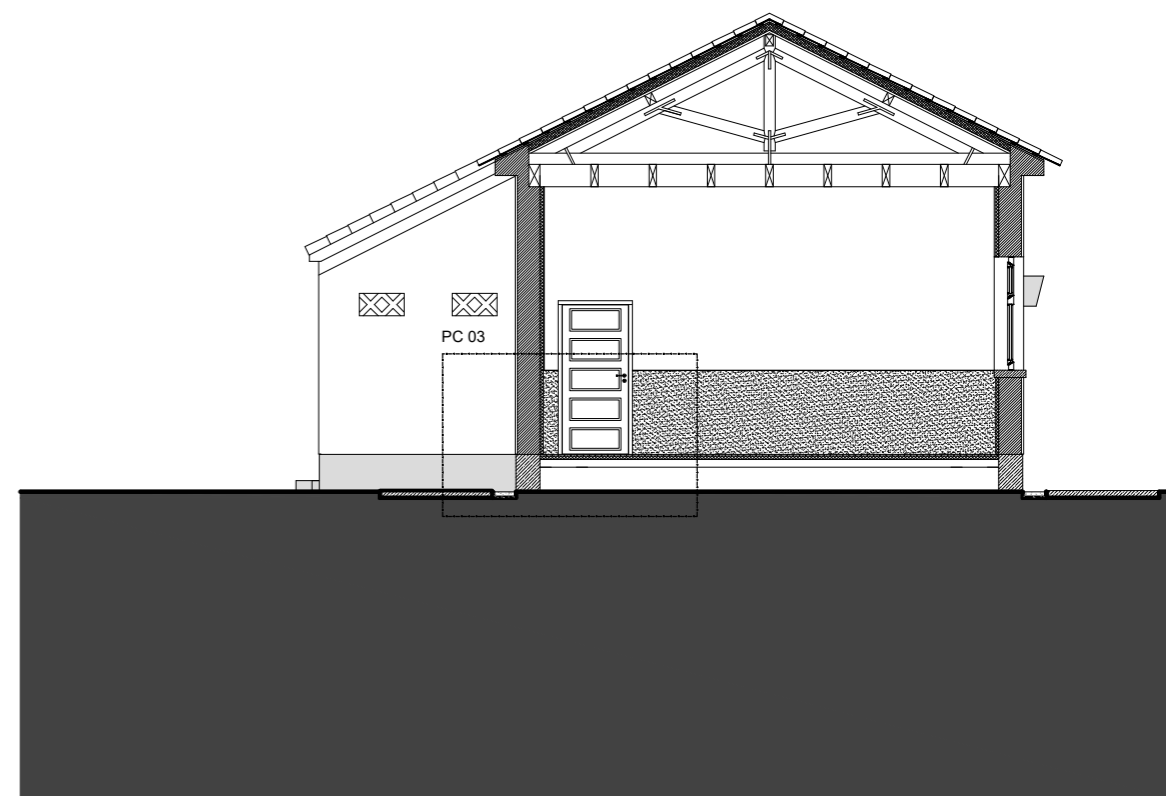


I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I



Corte AA



Corte BB

Este desenho é propriedade da HMG ARQUITECTURA, LDA e não pode ser reproduzido, divulgado ou copiado, em parte ou no todo, nem passado a terceiros sem o prévio consentimento do mesmo.

AutoCAD LT 2010 - N.º 345 - 08467522

PROJECTO DE EXECUÇÃO



I HMG I ARQUITECTURA I

I Rua Prof. Lucas Pires N.º 1, R/Chão Esq. - Bragança I T: 273 328 632 f: 273 328 633 I info@hmg.com.pt I

Corte AA / Corte BB

Arquitectura - Proposto

Data: Janeiro 2019

Escala: 1 / 100

Desenho: 15A

Obs:

Requerente: Câmara Municipal de Bragança

Localização: Aldeia de Rio de Onor, Bragança