



UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

José Artur de Sousa Leite

## AUTOMAÇÃO EM ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções, orientada pelo Professor Doutor Fernando José Telmo Dias Pereirae apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Fevereiro de 2021

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Departamento de Engenharia Civil

José Artur de Sousa Leite

# AUTOMAÇÃO EM ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

## AUTOMATION IN BIOCLIMATIC ARCHITECTURE

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,  
orientada pelo Professor Doutor Fernando José Telmo Dias Pereira

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC  
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Fevereiro de 2021



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

## AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação marca o final de uma grande etapa da minha vida e por isso, não posso deixar de mostrar o meu agradecimento a todos aqueles que de algum modo participaram nela.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão para com o meu orientador, Professor Telmo Dias Pereira pelo apoio, sugestões e esclarecimentos que me ajudaram na elaboração deste trabalho assim como na minha formação como engenheiro.

Agradeço também o financiamento necessário para a compra dos materiais, componentes eletromecânicos e dispositivos KNX essenciais para o desenvolvimento do protótipo construído, através do respetivo centro de custos da ACIV - Associação para o Desenvolvimento da Engenharia Civil.

Um agradecimento também a todos os colegas e amigos que me ajudaram a ultrapassar algumas das minhas dificuldades ao longo destes anos. Um agradecimento em especial à Catarina e à Mafalda pelo seu companheirismo e entreaajuda.

Um grande agradecimento aos meus pais por terem permitido concretizar o sonho de criança de ser engenheiro civil, e ainda, agradecer à minha irmã Marisa pelo apoio em alturas mais difíceis.

Por último, um enorme agradecimento à minha namorada Sara que desde o início do curso me ajudou e me motivou nos momentos mais difíceis e quem em muito contribuiu para esta etapa.

## RESUMO

Desde os tempos mais remotos que o ser humano tem necessidade de se fixar e proteger das condições ambientais e climáticas adversas. Tal conduziu à evolução da construção ao longo dos últimos anos para satisfazer as necessidades das populações. No entanto, tal evolução levou a um uso excessivo de recursos energéticos e por isso serão estudadas formas de combater o consumo a nível habitacional.

Devido ao uso excessivo de recursos devemos investir e introduzir diferentes soluções por forma a aproveitar os recursos e fenómenos naturais. São exemplo disso, os sistemas solares passivos em habitações, isto é o aproveitamento da energia do Sol para a climatização habitacional, sem recurso a meios mecânicos.

A domótica apresenta-se como uma solução de controlo e gestão de diversas infraestruturas que, devido ao seu desenvolvimento e ao padrão de conforto da sociedade, é cada vez mais uma parte integrante da habitação permitindo assim, maior comodidade e proveito por parte do utilizador.

Nesta dissertação, pretende-se estudar e demonstrar de que forma a aplicação da automação pode potenciar os benefícios da Arquitetura Bioclimática, destacando o aquecimento através de uma parede de Trombe e a ventilação noturna para o arrefecimento. Vai-se proceder à criação de um protótipo à escala real, atribuindo cenários e ações desenvolvidos automaticamente ou manualmente.

Após a atribuição de diversos cenários, verificou-se o bom funcionamento dos sistemas mencionados, concluindo que estas soluções são capazes de satisfazer os parâmetros de conforto térmico das habitações ou pelo menos permitir a redução dos consumos energéticos habitacionais.

**Palavras-chave:** Automação, Arquitetura Bioclimática, Parede de Trombe, Ventilação Noturna.

---

## ABSTRACT

Since the most remote times, humans have needed to settle down and protect themselves from adverse environmental and climatic conditions. This has led to the evolution of construction over the past few years to meet the needs of the population. However, this evolution has led to an excessive use of energy resources and, therefore, will be studied ways to combat consumption at the domestic level.

Due to the excessive use of resources, we must invest and introduce different solutions in order to take advantage of natural resources and phenomena. An example of this is the passive solar systems in homes, that is, the use of Sun's energy for housing air conditioning, without the use of mechanical means.

Home automation presents itself as a solution for the control and management of various infrastructures which, due to its development and the standard of comfort of society, is increasingly an integral part of housing, thus allowing greater convenience and benefit for the user.

In this dissertation, we intend to study and demonstrate how the application of automation can enhance the benefits of bioclimatic architecture, highlighting the heating through a Trombe wall and the night ventilation for cooling. A full-scale prototype will be created, assigning scenarios and actions developed automatically or manually.

After the assignment of several scenarios, the aforementioned systems were found to work properly, concluding that these solutions are capable of satisfying the thermal comfort parameters of the houses or at least allowing the reduction of the energy consumption of the houses.

**Keywords:** Automation, Bioclimatic Architecture, Trombe Wall, Night Ventilation.

---

---

## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Estrutura da dissertação .....	3
2	ESTADO DA ARTE .....	4
2.1	Domótica.....	4
2.1.1	Considerações Iniciais .....	4
2.1.2	Principais Funcionalidades .....	5
2.1.3	Constituintes .....	6
2.1.4	Protocolos .....	7
2.1.5	Comparação entre os 3 protocolos.....	15
2.2	Arquitetura Bioclimática.....	17
2.2.1	Introdução .....	17
2.2.2	Mecanismos de transmissão de calor.....	19
2.2.3	Ambiente Físico e o Conforto Humano .....	19
2.2.4	Arquitetura vernacular .....	20
2.2.5	Gestão de energia num edifício Bioclimático.....	21
2.2.6	Arquitetura Solar Passiva em Portugal .....	22
2.2.7	Isolamento térmico.....	24
2.2.8	Paredes e Coberturas Verdes .....	25
2.2.9	Iluminação através de túneis de luz .....	25
2.2.10	Iluminação através de prateleiras de luz .....	26
2.2.11	Sistemas passivos de arrefecimento.....	26
2.2.12	Sistemas de aquecimento passivo .....	32
2.3	Conclusões para o desenvolvimento da tese.....	35
2.3.1	No domínio da automação e domótica.....	35
2.3.2	No domínio da Arquitetura Bioclimática.....	35
3	TECNOLOGIA KNX.....	37
3.1	O standard KNX.....	37
3.1.1	Associação KNX.....	38
3.2	Principais características .....	38
3.3	Meios de transmissão .....	39
3.3.1	KNX TP (twisted pair).....	40
3.3.2	KNX RF (radio frequency).....	40

---

3.3.3	KNX PL (power line).....	40
3.3.4	KNX IP (internet protocol).....	40
3.4	Topologia da instalação.....	40
3.5	Modos de configuração.....	42
3.5.1	Modo de configuração Profissional: S-Mode.....	42
3.5.2	Modo de configuração fácil: E-Mode.....	42
3.5.3	Modo de configuração fácil: A-Mode.....	43
3.6	Principais componentes.....	43
3.6.1	Fontes de alimentação KNX.....	43
3.6.2	Fontes de alimentação auxiliares.....	43
3.6.3	Acopladores de linha.....	43
3.6.4	Cabo BUS KNX.....	44
3.6.5	Módulos de entrada.....	44
3.6.6	Módulos de saídas.....	44
3.6.7	Gateways.....	44
3.6.8	HomeServer.....	44
3.7	Principais vantagens.....	45
4	GANHOS INDIRETOS – PAREDE DE TROMBE.....	46
5	ARREFECIMENTO POR VENTILAÇÃO NOTURNA.....	51
6	PROTÓTIPO CONSTRUÍDO E SEU FUNCIONAMENTO.....	53
6.1	Descrição do projeto.....	53
6.2	Parede de Trombe – Estação de aquecimento.....	56
6.2.1	Princípios de funcionamento.....	57
6.2.2	Dispositivos KNX utilizados.....	58
6.2.3	Funcionamento do sistema KNX instalado.....	59
6.3	Ventilação Noturna – Estação de arrefecimento.....	60
6.3.1	Princípios de funcionamento.....	60
6.3.2	Dispositivos KNX utilizados.....	61
6.3.3	Funcionamento do sistema KNX instalado.....	62
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
7.1	Conclusões.....	63
7.2	Trabalhos futuros.....	64
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
	Anexos.....	69

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Composição de Rede de Controlo LonWorks. (ECHELON, 2009).....	9
Figura 2.2 - Logótipo da tecnologia LonWorks .....	10
Figura 2.3 - Composição do sistema X-10 (ElectronicaPT@2020).....	11
Figura 2.4 - Logótipo da tecnologia X10 .....	13
Figura 2.5 - Disponibilidade anual de radiação solar global (kWh/m <sup>2</sup> ). (Cavaco, 2016).....	23
Figura 2.6 - Ganhos diretos. Adaptado de Moita(2010).....	33
Figura 2.7 - Ganhos indiretos. Adaptado de Moita(2010).....	34
Figura 2.8 - Ganhos separados. Adaptado de Moita(2010).....	34
Figura 3.1 - Logótipo do protocolo KNX.....	38
Figura 3.2 - Instalação elétrica convencional. (Hager, 2020).....	39
Figura 3.3 - Instalação elétrica com rede KNX. (Hager, 2020).....	39
Figura 3.4 - Topologia de rede KNX. Adaptado de Schneider@2020.....	41
Figura 3.5 - Modos de programação Hager KNX. Hager, 2020 .....	42
Figura 6.1 - Planta do protótipo construído .....	55
Figura 6.2 - Corte do protótipo construído .....	55
Figura 6.3 - Fotografia da parede de Trombe.....	55
Figura 6.4 - Fotografia das grelhas de ventilação.....	56
Figura 6.5 - Vista isométrica do protótipo construído.....	57
Figura 6.6 - Esquema de funcionamento da proteção solar.....	58
Figura 6.7 - Esquema de funcionamento da ventilação noturna.....	61



## 1 INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos que as populações sentem necessidade de se fixar e proteger das condições adversas ambientais e climáticas, o que conduziu a que a construção tenha evoluído ao longo dos anos por forma a acompanhar a necessidade de conforto e proteção que o ser humano necessita. No entanto, esta evolução das sociedades conduziu ao mau uso dos recursos que o planeta Terra nos disponibiliza e a uma correlação nefasta entre a existência humana, a arquitetura e o ambiente. Os obstáculos criados têm de ser agora superados para garantir a sobrevivência do ser humano. Como resposta a estas dificuldades, são concebidas soluções mais sustentáveis e ecológicas, surgindo assim, os conceitos de Arquitetura Biofílica e Arquitetura Bioclimática.

Em dezembro de 2015, na Conferência Climática de Paris (COP21) ficou estabelecido o Acordo de Paris. Este acordo mundial universal e juridicamente vinculativo sobre as mudanças climáticas, institui uma estrutura global para evitar mudanças climáticas perigosas e visa capacitar e apoiar os países nos seus esforços no combate aos impactos das mudanças climáticas. É importante referir que estas mudanças climáticas condicionam o acesso aos recursos energéticos não renováveis. Comissão Europeia@(2020a)

Ao nível da União Europeia (UE) existe uma estratégia ambiental definida para 2030. Este quadro climático e energético inclui metas e objetivos para o período de 2021 a 2030. Neste período a UE compromete-se a:

- pelo menos 40% de redução nas emissões de gases de efeito de estufa (a partir dos níveis de 1990);
- pelo menos 32% de participação de energia renovável;
- melhoria de pelo menos 32,5% na eficiência energética.

Estas metas foram revistas em 2020. Comissão Europeia@(2020b)

A Arquitetura Bioclimática consiste na integração e adaptação da construção ao ambiente envolvente. Na fase de conceção de um projeto é importante ter em conta os parâmetros ambientais como o clima, a orientação e a exposição aos ventos dominantes sendo muito importante maximizar os ganhos solares passivos. Assim, o que distingue este conceito da

---

Arquitetura Solar Passiva é que no caso da Arquitetura Bioclimática, são incorporadas outras soluções sustentáveis que permitam melhorar o conforto térmico do edifício. Temos a construção de telhados e paredes verdes ou aproveitamento de água como soluções que podem ser incorporadas na construção. (Lanham et al, 2004)

No que concerne à Arquitetura Solar Passiva, Moita (2010) apresenta os sistemas solares passivos como sendo capazes de captar e transmitir a energia solar de forma natural, através da convecção, condução e radiação, sem serem utilizados meios mecânicos, como por exemplo bombas de circulação, entre outros. Tendo estes sistemas que ser integrados nos edifícios de forma a melhorar comportamento térmico e a eficiência energética.

Com o desenvolvimento da construção sustentável surge a necessidade de tornar os edifícios mais inteligentes, confortáveis e convenientes. Os gastos energéticos assumem assim uma elevada importância nesta realidade. Posto isto, a automação de edifícios proporciona uma base sólida para edifícios inteligentes que otimizam a eficiência operacional e energética.

A domótica é um conceito aplicável a diferentes contextos, desde edifícios residenciais, comerciais, saúde, desportivos, entre outros. A domótica pode ser entendida como o controlo automatizado de instalações técnicas existentes num edifício.

A domótica apresenta-se como uma solução para o controlo e gestão das diversas infraestruturas de um edifício e para a procura constante de melhorias ao nível do conforto, conveniência, segurança, poupança e manutenção energéticas. Assim, é crescente a importância da domótica para a evolução da sociedade tornando-se, no futuro, uma ferramenta indispensável no quotidiano das populações.

Pelo que foi demonstrado até aqui, é o momento de destacar uma construção mais económica e mais sustentável, tanto em termos de soluções arquitetónicas como na gestão energética, numa conjuntura em que os seus custos são cada vez mais elevados. Tendo em conta esta linha de pensamento, com esta dissertação pretende-se demonstrar, graças a um protótipo em escala real, de que forma se pode potenciar e promover o uso de Arquitetura Bioclimática através da introdução de automação nestas soluções construtivas.

O objetivo é simular um espaço habitacional incorporando um sistema solar passivo de ganhos indiretos e um mecanismo de refrigeração direta, a partir de ventilação natural. A este protótipo vai ser adaptado um sistema de automação que visa capacitar a construção anterior de flexibilidade, eficiência térmica, comodidade e conforto no que concerte às diferentes condições ambientais e climáticas.

No desenvolvimento desta dissertação vamos incidir sobre integração da domótica na Arquitetura Bioclimática, ou seja, perceber como estes conceitos podem ser potenciados pela domótica. Na presente dissertação, não serão avaliados nem quantificados os ganhos térmicos produzidos pela integração da domótica.

## **1.1 Estrutura da dissertação**

A dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos, incluindo o presente.

No capítulo 2, “Estado da arte”, são abordados os dois temas fulcrais a esta dissertação. Por um lado, a Domótica, falando na sua generalidade e especificamente de três conhecidos sistemas, nomeadamente, LonWorks, X10 e o KNX, finalizando com uma comparação entre os três. Por outro lado, é abordado o tema da Arquitetura Bioclimática, onde são desenvolvidos diversos subtemas que se encontram dentro desta temática. Na conclusão deste capítulo é ainda apresentado o sistema de domótica a ser aplicado ao projeto e os conceitos de arquitetura aos quais irá ser aplicado.

No capítulo 3, “Tecnologia KNX”, pretende-se dar a conhecer o protocolo que vai ser utilizado no projeto, como surgiu, especificidades da sua instalação, os seus componentes, as suas vantagens, entre outros.

No capítulo 4, “Ganhos indiretos – Parede de Trombe”, é desenvolvido um dos conceitos que será aplicado no projeto, por forma a dar a conhecer as suas características e o seu modo de funcionamento, abordando as vantagens da sua aplicação.

No capítulo 5, “Arrefecimento por ventilação noturna”, é desenvolvido outro conceito aplicado no projeto, por forma a demonstrar a sua aplicabilidade e a sua importância.

No capítulo 6, “Protótipo construído e seu funcionamento”, é apresentado o protótipo construído utilizando o sistema KNX para potenciar o aquecimento e o arrefecimento abordados nos capítulos anteriores, respetivamente.

No capítulo 7, “Considerações finais”, é demonstrada a aplicabilidade da domótica aos conceitos de Arquitetura Bioclimática e são propostos trabalhos futuros com base nesta dissertação.

## 2 ESTADO DA ARTE

### 2.1 Domótica

#### 2.1.1 Considerações Iniciais

A palavra “domótica” deriva das palavras *domus* (casa em latim) e Robótica (controlo automatizado de algo), e define-se como a possibilidade de controlo de forma automática de edifícios.

A automação começou por desempenhar um papel de destaque na indústria. Graças ao controlo automático de máquinas com diferentes graus de complexidade, permitiu o desenvolvimento da indústria ao tornar possível a criação de linhas de produção independentes e sequenciação de processos. Em relação ao setor do comércio, foi possível otimizar sistemas de controlo de stocks, otimização de processos comerciais, identificação de produtos pelos códigos de barras, entre outros. Por último, a automação chega às habitações, surgindo os conceitos de “Domótica” e “Casas Inteligentes”, transformando o ambiente doméstico e trazendo enormes benefícios para o utilizador.

Assim, é possível deduzir que a domótica é um conjunto de técnicas aplicadas a um processo, com o intuito de o tornar mais eficiente através da introdução de medições, autocorreções e ações, sem necessidade de intervenção humana.

Um sistema de domótica é composto por uma rede de comunicação entre uma série de dispositivos, com o objetivo de recolher informação e atuar sobre o ambiente residencial de forma a exercer o controlo e supervisão da casa. Existem sistemas de inteligência centralizada ou distribuída.

Os sistemas centralizados dispõem de uma unidade central de processamento de informação, a qual se encontra em comunicação com todos os outros dispositivos da instalação. Estes podem ser sensores, que recolhem e enviam dados para a unidade central que, por sua vez, toma decisões e envia comandos para atuadores, de modo a realizarem as ações desejadas.

---

Os sistemas de inteligência distribuída dispõem de dispositivos com capacidade própria de processamento de dados. Neste tipo de sistemas, normalmente todos os dispositivos são capazes de comunicar entre si, direta ou indiretamente, de acordo com a tipologia da rede, possibilitando uma ação pronta dos atuadores.

Assim, o objetivo da domótica é garantir ao utilizador um aumento dos níveis de segurança, conforto, poupança energética e um maior controlo sobre a casa. É importante destacar a flexibilidade destes sistemas de automação uma vez que se encontram em constante desenvolvimento visando acompanhar os avanços tecnológicos. (GOUVEIA, 2009)

### **2.1.2 Principais Funcionalidades**

A domótica pode atuar em diferentes domínios, sendo eles: (Melo, 2012)

- **Iluminação:** esta função aumenta os níveis de conforto com a regulação dos níveis de luminosidade de acordo com o local e o período de utilização, através da programação prévia e facilita a acessibilidade nos espaços de passagem e convivência. O comando manual dos periféricos de iluminação pode ser conjugado com a automatização.
- **Controlo e regulação de cortinas e estores:** o controlo de abertura e fecho destes elementos deve ter em conta vários fatores como o ciclo diário/semanal, a iluminação, a segurança e o aquecimento. É uma parte integrante do conjunto global de funcionalidades do sistema de domótica e são controladas pela central em conjunto com as funcionalidades referidas.
- **Sistemas de segurança:** esta função permite a integração de funcionalidades com tecnologias diferentes permitindo a sua interação e aumento de segurança. A central de segurança recebe sinais das diferentes funcionalidades, comunica ao sistema de domótica, sendo que este desencadeia um conjunto de ações previamente programadas pelo utilizador.
- **Gestão de energia:** esta função permite a otimização dos consumos de energia garantindo a eficiência operacional dos sistemas do edifício.
- **Aquecimento, ventilação e ar condicionado:** a integração da domótica no controlo do sistema de climatização permite a gestão eficaz e o aumento da eficiência da

climatização do edifício. Este tipo de automatismo é escolhido e programado pelo utilizador tendo em conta as suas rotinas diárias.

- **Sistemas de monitorização:** consiste na instalação de um *software* de supervisão que permite a alteração de parâmetros de conforto, segurança, entre outros. O utilizador pode consultar registos de funções, visualizar imagens ou outras funções específicas, local ou remotamente.
- **Controlo remoto:** permitem dar ordens de atuação dos vários sistemas de domótica fora de casa. Este controlo é possível através da ligação à internet.
- **Controlo áudio/vídeo:** permite ao utilizador a intercomunicação, realização e chamadas dentro e fora do sistema, transmissão de dados de música, voz e vídeo porteiro.

### 2.1.3 Constituintes

Para que um sistema de domótica funcione corretamente é necessário estabelecer uma rede devidamente planeada, distribuindo os dispositivos adequadamente pelo edifício.

Os principais dispositivos constituintes de uma rede domótica são: (Pereira, 2019)

- **Atuadores:** são os dispositivos com a finalidade de controlar um outro elemento, isto é, terão o controlo de ligar/desligar, motores de estores, portões, variadores de potência, electroválvulas e torneiras, sistemas de som, ou até, fazer variar as condições de aparelhos de aquecimento, ventilação e ar condicionado.
- **Controladores:** são os elementos que tem como função gerir a instalação, recebem a informação proveniente dos sensores transmitindo-a aos atuadores.
- **Interfaces:** são elementos que permitem o controlo dos dispositivos da rede, através da entrada e a saída de informação, utilizando ferramentas gráficas para a sua visualização, tais como telemóveis, tablets, computadores e ecrãs táteis.
- **Sensores:** estes dispositivos têm a capacidade de reconhecer a variação de diversos parâmetros. É também possível, obter informação relativamente à temperatura, luminosidade, humidade, presença de pessoas, fugas de gás ou água no local onde são instalados.

## 2.1.4 Protocolos

### 2.1.4.1 LonWorks

É uma solução de rede aberta e distribuída para automação e controlo de redes desenvolvido pela empresa americana *Echelon*. Os produtores fabricam componentes que partilham deste protocolo de comunicação padrão para que possam ser integrados em controlos centralizados de automação assim como componentes de controlo descentralizado de edifícios. (ECHELON, 2009)

O sistema *LonWorks* é utilizado na automação de edifícios residenciais e industriais e controlo de redes de transportes e utilidade pública. Este sistema destaca-se por permitir a interoperabilidade e por oferecer uma tecnologia robusta e de desenvolvimento rápido. A interoperabilidade é a capacidade dos dispositivos produzidos por diferentes entidades de trocar informação entre si. (ECHELON, 2009)

É importante referir que existem dois modelos de aplicação das redes *LonWorks*:

- *LNS® NetWork Operation System* para edifícios comerciais, industriais e serviços de transportes.
- *Interoperable Self-Installation (ISI)* com o *LonBridge™ Server* (opcional) para habitações.

A tecnologia *LonWorks* é composta por um vasto número de elementos interligados, componentes de hardware, aplicações de software e estruturas organizacionais que no seu todo permitem a operação de uma rede de controlo denominada *Local Operating Network (LON)*: (ECHELON, 2009) e (Merz et al, 2018)

- *Neuron Chip*: é a peça central do sistema *LonWorks* e engloba até 4 processadores que conferem as capacidades de processamento da comunicação, aplicação e memória. Este elemento representa um nó na rede. Cada *Neuron Chip* está direcionado para uma função específica mas a perda de um deles não afeta significativamente o funcionamento geral da rede. Este elemento é um componente semicondutor desenhado especificamente para disponibilizar inteligência e capacidade de desempenho em rede a dispositivos de controlo de baixo custo.

- Protocolo *LonTalk*: define a programação do *Neuron Chip* e como eles comunicam entre si. Tal necessita de uma linguagem padrão ou protocolo de comunicação. Este componente está integrado no *Neuron Chip* como *firmware* e garante a compatibilidade dos vários nós da mesma rede.
- *Transceivers* (nós transdutores e atuadores): fornecem a interface física entre o componente e a rede da *LonWorks*. Existem diversos *transceivers*, nomeadamente, fibra ótica, par trançado, rede elétrica e frequência de rádio. A instalação da rede pode ser feita com um simples par trançado que necessita apenas de um único terminador. No caso de habitações, luzes exteriores ou redes de transportes, é adequado utilizar a rede elétrica já existente permitindo que o sistema de controlo em rede possa ser instalado sem necessidade de novas ligações por fio.
- *Routers*: tornam possível o suporte de diferentes tipos de informação. Podem ser utilizados como controlo do fluxo de dados, aumentando a capacidade da rede.
- Ferramentas de desenvolvimento e de rede: a *Echelon* disponibiliza, aos produtores de componentes, as ferramentas de desenvolvimento *NodeBuilder* e *LonBuilder* que permitem a programação das suas aplicações nos *Neuron Chips*. Estas ferramentas são utilizadas para desenvolver e testar dispositivos certificados. A *LonMarker* é uma ferramenta de rede que permite personalizar dispositivos LON e integra-los em redes em pleno funcionamento.
- *LonMark Interoperability Association*: é responsável por definir as linhas de orientação para a programação de aplicações que garantem a confiança na troca de dados entre diferentes dispositivos de diversos produtores. Define também quais os requisitos físicos dos dispositivos assim como os seus perfis de funcionamento, tipos de dados, capacidade de configuração e metodologia de instalação. Um dispositivo que tenha certificação da *LonMark Interoperability Association* tem a garantia da interoperabilidade com outro dispositivo certificado produzido por outra entidade.



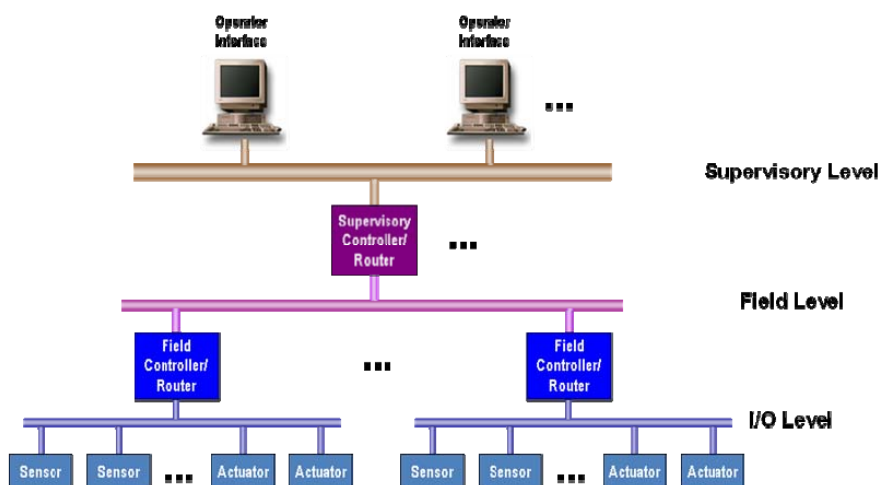


Figura 2.1 - Composição de Rede de Controle LonWorks. (ECHELON, 2009)

Como mostra a figura 1, os componentes são semelhantes tanto nas redes de controlo como nas redes de dados. No entanto, nas redes de controlo, os componentes são otimizados no que concerne aos custos, desempenho, tamanho e requisitos de controlo da resposta.

A aplicação das redes *LonWorks* vai desde pequenas redes de controlo de máquinas até grandes redes com centenas de dispositivos que controlam as máquinas de produção até aos sistemas de automação do edifício. As redes *LonWorks* são utilizadas em edifícios, fábricas, comboios, aviões e em milhares de outros processos.

Em conclusão, o sistema *LonWorks* baseia-se nos seguintes conceitos: ECHELON (2009)

- Um sistema de controlo em rede significativamente mais potente, flexível e com maior capacidade de expansão do que um sistema controlo centralizado;
- A partir das bases de um sistema controlo, os sistemas de controlo em rede podem evoluir com facilidade permitindo a expansão para novos mercados e a abordagem de novas aplicações.
- A longo prazo, os sistemas de controlo em rede permitem uma maior poupança e ganhos monetários do que um sistema controlo centralizado.



Figura 2.2 - Logótipo da tecnologia LonWorks

#### 2.1.4.2 X10

O protocolo X10 foi desenvolvido na década 70, pela empresa escocesa, Pico Electronics. Atualmente é um protocolo aberto usado por muitas empresas que comercializam produtos baseados no X10. Tal facto fez com que os fabricantes de equipamentos eletrónicos pudessem fazer alterações e adaptações ao X10 de forma a melhor servir os seus projetos paralelamente aos avanços tecnológicos, o que conduziu à sua rápida difusão pela Europa e EUA. (Gouveia, 2009)

O X10 é um sistema que visa controlar sistemas de temperatura e presença, comunicar pela internet ou mensagem, usar camaras de vídeo remotas, utilizar integração com sistemas de wireless, exercer e controlar sistemas de segurança e prevenção de acidentes. Além disto, a instalação pode ser executada sem o recurso a um profissional da área de automação. ElectronicaPT@(2020)

O X10 destaca-se pelo recurso a tecnologia de baixo custo com grande variedade de dispositivos, recorrendo à rede elétrica como meio de comunicação entre dispositivos, o que simplifica a sua instalação. Posto isto, é possível a sua instalação numa qualquer habitação, independentemente da sua fase de construção. A comunicação entre dispositivos baseia-se na injeção de sinais de alta frequência na rede elétrica, sem interferir com as suas funções de fornecimento de energia. (Gouveia, 2009)

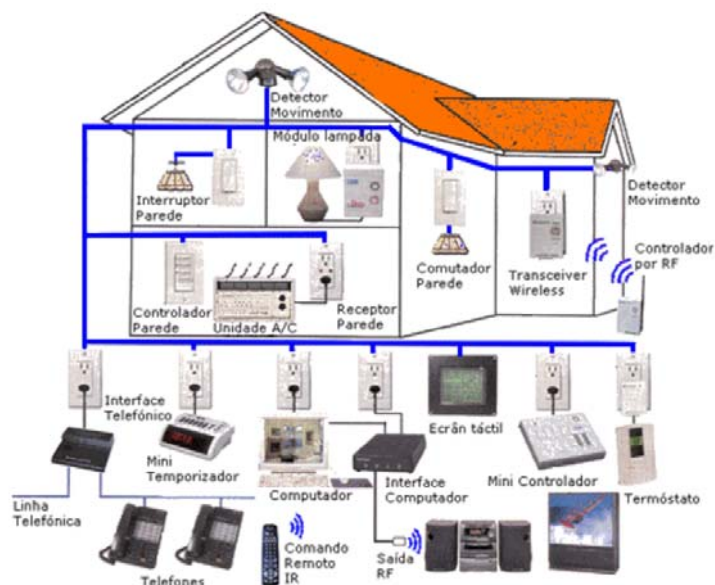


Figura 2.3 - Composição do sistema X-10 (ElectronicaPT@2020)

Existem três tipos de dispositivos X-10: (Sousa, 2012)

- Controladores: são dispositivos que só podem transmitir ordens. Estes enviam sinais de comando para os recetores, que por sua vez, fazem atuar o dispositivo elétrico que lhe está ligado.
- Recetores: são dispositivos que só podem receber ordens. Estes dispositivos são adaptadores que se instalam entre o dispositivo elétrico que se pretende controlar e a fonte elétrica que o alimenta. Estes recetores realizam funções pré-estabelecidas, quando recebem a informação enviada pelo controlador para o endereço de destino, sendo que este endereço é atribuído de forma manual. Cada recetor pode receber ordens de diferentes transmissores.
- Dispositivos Bidirecionais: podem receber e enviar ordens. São recetores com capacidade de responder e confirmar a realização correta de uma ordem (feedback).

É importante referir que, devido à resistência interna dos cabos da rede elétrica, o sinal X10 é atenuado à medida que se afasta do emissor. Numa instalação típica, o sinal consegue percorrer cerca de 80 metros, sem que verifique amplitudes pico a pico ( $V_{pp}$ ) inferiores a 100mV (valor mínimo perceptível para a maioria dos dispositivos X10). Para uma instalação com transmissões superiores a 80 metros é necessária a utilização de repetidores X10, os quais recebem os sinais X10 e efetuam a sua retransmissão amplificada. (Gouveia, 2009)

Uma vez que o X10 apresenta um protocolo de comunicação unidirecional pouco desenvolvido, é possível a ocorrência de erros de comunicação. Destaca-se, desta forma, a falta de robustez nas comunicações X10. Para contrariar estas possíveis falhas, este protocolo de comunicação baseia-se na premissa de que qualquer ação num sistema X10 implica o envio de duas mensagens: mensagem de seleção do dispositivo e mensagem com a ordem a executar. Estas mensagens são enviadas em duplicado o que torna o envio de comandos para os dispositivos um processo demasiado lento. Além desta limitação, a pequena gama de endereços existentes nesta tecnologia, uma vez que só permite a existência de 256 dispositivos recetores independentes, constitui uma outra desvantagem deste protocolo. Tal facto resulta na inadequação deste sistema para grandes edifícios. (Gouveia, 2009)

Além das vantagens e desvantagens referidas, é necessário mencionar que as interferências causadas por agentes externos como fontes de alimentação, lâmpadas fluorescentes, entre outros, podem prejudicar a comunicação, promovendo erros associados a ruídos com frequências próximas dos sinais X10 (120kHz). Dispositivos elétricos como os monitores de PC e tomadas com proteção contra picos de tensão são igualmente prejudiciais, já que, devido à sua arquitetura, absorvem sinais de altas frequências (sinais X10). Por forma a evitar as situações referidas, recorre-se a filtros de sinal utilizados na ligação dos dispositivos elétricos identificados como problemáticos à rede elétrica. (Gouveia, 2009)

A tecnologia X10 pode ser associada a outros meios de comunicação, como a radiofrequência, os infravermelhos e indiretamente à internet, através de uma ligação com um computador. Além disto, o utilizador pode interagir com os dispositivos X10 de diferentes formas uma vez que estão disponíveis no mercado controlos remotos, interruptores, sensores, atuadores, entre outros. Estes dispositivos podem injetar sinais X10 na rede elétrica, ler e interpretar sinais X10. (Gouveia, 2009)

Em conclusão, apesar do protocolo X10 permitir uma instalação simples e de baixo custo em ambiente doméstico, é difícil a sua aplicação em edifícios de elevada complexidade. É um sistema de domótica ao alcance de um utilizador comum permitindo automatizar frações da habitação. No entanto, apresenta várias limitações, tornando-o adequado apenas para pequenos edifícios.



Figura 2.4 - Logótipo da tecnologia X10

#### 2.1.4.3 Konnex

O protocolo *Konnex* (KNX), é um sistema de controlo de comunicação aberto que utiliza a tecnologia e domótica para ligar entre si dispositivos como sensores, atuadores, controladores e monitores. A sua tecnologia foi desenvolvida para ser utilizada em instalações elétricas por forma a automatizar funções e processos nos edifícios.

Com a evolução da sociedade surge a necessidade de acrescentar soluções de conforto, versatilidade, sustentabilidade e segurança às nossas construções e a domótica apresenta-se como uma tecnologia capaz de dar resposta a esta necessidade.

O verdadeiro desafio surge quando a monitorização e controlo inteligente de todos os sistemas de um edifício implica a ligação de múltiplos sensores e atuadores aos centros de controlo e monitorização. Tal significa um esforço acrescido no design e instalação, o que conduz a maiores gastos e riscos de incêndio. O KNX surgiu como um protocolo de simplificação deste processo.

Segundo a *KNX Association*, os objetivos de desenvolvimento desta tecnologia estão direcionados para o desenvolvimento e promoção de uma comunicação padrão internacional para a automação de edifícios, isto significa que vários dispositivos de diferentes produtores podem ser instalados e comunicar entre si.

O KNX é uma tecnologia direcionada para o futuro e evolução. Permite personalização e flexibilidade da instalação e é um sistema seguro.

Atualmente existem vários dispositivos KNX certificados para todos os sistemas. Tal facto simplifica a sua planificação e a implementação, resultando em maior funcionalidade, flexibilidade e conforto sem que para isso haja maior esforço ou gastos. O KNX permite

modificar os parâmetros estabelecidos a qualquer momento, isto é, é possível redefinir aquilo que o dispositivo deve fazer sempre que seja necessário. No entanto, os dispositivos KNX certificados são mais caros do que os equipamentos utilizados na instalação de sistemas convencionais. Para que seja possível a rentabilização do investimento é importante que este protocolo de comunicação seja aplicado para permitir a ligação de vários sistemas e que seja flexível para permitir alterações futuras.

Os sistemas KNX têm sido integrados nas infraestruturas de rede de edifícios, usando uma porta IP, permitindo o seu acesso externo via Internet. (Merz et al, 2018)

Quando se programa um sistema KNX é importante definir: (Merz et al, 2018)

- Qual o meio de transmissão a usar: existem vários meios de transmissão, nomeadamente, cabos em par entrançado, rede elétrica, radio frequência e fibra ótica, sendo que, o cabo em par entrançado é o meio de transmissão mais utilizado.
- Seleção dos dispositivos *bus* para as funções requeridas: inclui os sensores e atuadores. Estes dispositivos podem organizam-se em hardware externo e hardware interno. O hardware externo inclui o design e os conectores elétricos. O hardware interno inclui os *transceivers*, módulos de comunicação e aplicação.
- Orientações de instalação: os dispositivos KNX devem ser associados a um endereço físico. É importante definir a topologia e estrutura do sistema definindo nós, linhas e áreas.
- *Engineering Tool Software* versão 5 (ETS 5<sup>®</sup>): após cumprir os passos anteriormente discutidos, é feita a configuração e programação dos dispositivos *bus*, definindo a comunicação entre os sensores e atuadores. É de extrema importância a atribuição da comunicação dos objetos ao endereço físico.

Este protocolo permite a integração de diversos sistemas e funções como Iluminação, Ar Condicionado, Estores e Aquecimento.

“O KNX apresenta também como grande vantagem o facto de ser um sistema totalmente descentralizado, isto é, não depende de nenhum cérebro para funcionar, cada equipamento é responsável pela sua função, o que significa que, se por algum motivo um equipamento avariar apenas a função associada aquele equipamento deixa de funcionar, no entanto toda a restante instalação se mantém em funcionamento.” (Eurodomótica@2020)

## 2.1.5 Comparação entre os 3 protocolos

Após a apresentação dos 3 protocolos, KNX, LonWorks e X10, é importante estabelecer uma comparação entre os mesmos. Assim, serão abordados os seguintes tópicos: custos de instalação, meios de comunicação, velocidade de transmissão e capacidade da rede.

### 2.1.5.1 Custos de instalação

Os dispositivos KNX certificados são mais caros do que os equipamentos utilizados na instalação de sistemas convencionais. Além do hardware, o software KNX apresenta também custo elevado.

O sistema *LonWorks* permite a interoperabilidade e oferece uma tecnologia robusta e de desenvolvimento rápido, o que atribui custos mais elevados aos dispositivos certificados e à sua instalação.

Por outro lado, o protocolo X10 impõe-se como sendo uma tecnologia de baixo custo, com grande variedade de dispositivos, recorrendo à rede elétrica como meio de comunicação entre dispositivos, o que simplifica a instalação. Esta pode ser executada por qualquer indivíduo, sem formação técnica específica. É importante referir, no entanto, que se trata de um sistema de baixa robustez e com limitações na extensão da rede.

É possível concluir que o KNX e LonWorks destinam-se a edifícios e projetos mais complexos tendo que ser instalados por técnicos especializados. Para que seja possível a rentabilização do investimento é importante que estes protocolos de comunicação sejam aplicados para permitir a ligação de vários sistemas.

### 2.1.5.2 Meios de comunicação

Na tabela abaixo são apresentados os meios de comunicação suportados por cada sistema.

Quadro 2.1 - Meios de comunicação suportados por cada sistema.

Sistema	Rede Elétrica	Fibra Ótica	Cabos em Par Entrançado	Rádio Freqüência	Infravermelhos	<i>Ethernet</i>
<b>KNX</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>LonWorks</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>X10</b>	✓			✓	✓	

É possível concluir que o protocolo X10 é o que suporta menos meios de comunicação. Além disto, apresenta um protocolo de comunicação unidirecional pouco desenvolvido sendo possível a ocorrência de erros de comunicação. Destaca-se, desta forma, a falta de robustez nas comunicações X10. Por outro lado, o KNX e o LonWorks são os mais versáteis no que concerne aos meios de comunicação e apresentam-se como sistemas robustos e de elevada fiabilidade.

### **2.1.5.3 Velocidade de transmissão**

O sistema X10 tem uma velocidade de transmissão de 50 ou 60 bits/s, devido à frequência da rede elétrica. (Castro, 2012)

Na tecnologia LonWorks, dependendo do meio de comunicação, a velocidade de transmissão de dados pode variar entre 1 kbits/s a 1.25 Mbits/s. (Castro, 2012)

No caso do protocolo KNX, a velocidade depende do meio de comunicação: (Palma, 2008)

- Par Entrançado: taxa de transferência de 9 600 bits/s;
- Rede Elétrica: taxa de transferência de 1 200 bits/s;
- Rádio Frequência: taxa de transmissão de 16,384 kbits/s;
- Infravermelhos: taxa de transmissão é de aproximadamente 7 000 bits/s.

### **2.1.5.4 Capacidade da rede**

O sistema X10 só suporta 256 dispositivos na sua rede. (Ruela, 2012)

O sistema KNX suporta 58 000 dispositivos na rede. (Merz et al, 2018)

O sistema LonWorks suporta até 32 385 dispositivos na rede. (Merz et al, 2018)

Podemos desta forma concluir que os sistemas KNX e LonWorks destinam-se a ser implementados em edifícios maiores e mais complexos. Por sua vez, o X10 pode ser aplicado em ambiente doméstico, permitindo a automatização de frações da habitação.



## 2.2 Arquitetura Bioclimática

### 2.2.1 Introdução

A população mundial explorou em demasia os recursos naturais disponíveis e, neste momento, todos os países procuram soluções para aumentar as nossas hipóteses de sobrevivência. A crise energética, a poluição e o Efeito de Gases de Estufa são alguns dos problemas que a população mundial enfrenta e terá de superar. Esta demanda conduziu a uma reflexão e alteração de paradigmas na arquitetura, surgindo, desta forma, os conceitos de Arquitetura Biofílica e Arquitetura Bioclimática, cujas medidas propostas constituem a oportunidade de alcançar a meta de baixos níveis de consumo energético e de suprir as necessidades de conforto e proteção impostas pela sociedade atualmente, visando sempre os maiores benefícios económicos e ecológicos.

A Arquitetura Biofílica define-se como uma visão em que a natureza, a vida e a teoria arquitetónica se combinam para criar edifícios capazes de satisfazer os requisitos de habitabilidade, saúde e bem-estar. Para isso, incorpora, direta ou indiretamente, elementos da natureza na construção, respeitando tanto os habitantes como o ambiente. Este contacto com elementos de vida natural pode gerar vários benefícios para os habitantes tais como o estímulo da criatividade, produtividade e da sensação de tranquilidade. Além disto, o contacto com a natureza influencia o desenvolvimento das crianças, incentivando a imaginação e a interação social. (Almusaed, 2011 e Ecotelhado@2020)

Por sua vez, a Arquitetura Bioclimática consiste na integração e adaptação da construção ao ambiente envolvente, visando o conforto e bem-estar dos habitantes. Assim, na fase de conceção do projeto, a Arquitetura Bioclimática conjuga a sustentabilidade, a consciência ambiental, os conceitos de verde, natural e orgânico, o contexto onde se insere a construção assim como o microclima local e a sua topografia, para desenvolver soluções que apresentam benefícios ambientais, sociais e económicos. (Almusaed, 2011)

Para compreender melhor a pertinência da aplicação da Arquitetura Bioclimática precisamos analisar as necessidades energéticas e compromissos ambientais estabelecidos para Portugal.

O nosso país não tem reservas de recursos energéticos não renováveis, nomeadamente, carvão, petróleo e gás natural, tornando-o assim, um país dependente da importação de recursos energéticos.

A parcela energética destinada ao conforto térmico (aquecimento e arrefecimento) tem grande impacto no consumo total energético doméstico, sendo este o terceiro setor de maior consumo de energia em Portugal, cerca de 17% do consumo final de energia (dados de 2017). É por isto fundamental o aumento da eficiência no consumo de energia e o aproveitamento do potencial das energias renováveis. Os edifícios devem, assim, ser concebidos de forma a maximizar o seu desempenho térmico energético e minimizar o consumo e as emissões de gases de efeito estufa. DGEG@(2020)

A radiação solar é a uma fonte de calor com grande relevância para o conforto térmico, principalmente no inverno, contribuindo para o aumento da temperatura no interior da habitação. Sendo que no verão é algo a evitar, é possível diminuir a temperatura no interior do edifício, seja através de sombreamentos, vegetação, árvores ou de ventilação natural.

A Arquitetura Solar Passiva caracteriza-se pelo aproveitamento da energia solar. Moita e Energia Solar@2020 definem os sistemas solares passivos como capazes de captar e transmitir a energia solar por convecção, condução e radiação, sem serem utilizados meios mecânicos, como por exemplo, bombas de circulação, entre outros. No entanto, utiliza os elementos de construção como paredes, pisos, tetos e janelas, assim como outros elementos exteriores e de paisagismo, para controlar de forma mais eficiente o calor gerado pelo sol. Se estes sistemas forem integrados nos edifícios de forma correta contribuirão para melhorar o seu comportamento térmico e a sua eficiência energética.

Um aspeto importante no projeto de edifícios para o uso de energia solar passiva é saber como gerir o fluxo de correntes de ar no interior do edifício para capturar e aproveitar o calor no inverno e dissipá-lo para o exterior no verão. Energia Solar@(2020)

Existe um conjunto de outras variáveis que devem ser consideradas num projeto de utilização passiva de energia solar. Segundo Moita, F. (2010), a forma e orientação do edifício, a sua localização e relação com os espaços exteriores, assim como, a estruturação do espaço interior, constituem outras variáveis de significativa importância. Em Portugal, estas medidas ainda não são postas em prática de forma frequente e regular.

No passado, muitos dos sistemas solares passivos eram utilizados principalmente numa altura em que existiam poucos sistemas de climatização, pelo que teriam que ser utilizados métodos naturais para aumentar o conforto térmico das habitações. Atualmente, estes sistemas continuam a ser utilizados mas sofreram atualizações com novos materiais e novas formas de construção, podendo ainda ser potenciados através de automação. Desta forma é possível usufruir dos vários sistemas passivos sem a necessidade de intervenção humana. (Pinho, 2015)

---

### 2.2.2 Mecanismos de transmissão de calor

Calor é o termo associado à transferência de energia térmica de um sistema a outro em virtude da diferença de temperaturas entre eles. A transmissão de calor pode ocorrer segundo quatro mecanismos:

- Condução
- Convecção
- Radiação

**Condução** – este mecanismo de transmissão de calor tem por base a transferência de energia cinética, a nível molecular, em sólidos, líquidos ou gases. Nos edifícios, este processo de transmissão de calor é o mais significativo e depende da condutibilidade térmica dos materiais e da espessura do elemento da envolvente.

**Convecção** – este mecanismo de transmissão de calor tem por base a transferência de energia por movimento dos fluidos, líquidos ou gasosos, e condução molecular. Este mecanismo ocorre quando existem diferentes densidades causadas pelas diferentes temperaturas. A transmissão de calor por convecção aumenta na medida que aumenta a velocidade do fluxo do fluido.

**Radiação** – este mecanismo de transmissão de calor tem por base a transferência de energia por ondas eletromagnéticas. Todas as moléculas emitem radiação, dependendo da sua temperatura, e absorvem radiação a partir do meio envolvente. Para ocorrer este tipo de transmissão de calor é necessária a existência de duas superfícies a diferentes temperaturas, em que, devido à vibração das moléculas superficiais, é emitida energia radiante através do espaço até atingir uma superfície opaca, a qual absorve parte desta energia e reflete a restante.

### 2.2.3 Ambiente Físico e o Conforto Humano

A *ambiência* é um tema extremamente relevante para a arquitetura, uma vez que estuda aspetos extrínsecos ao homem e como eles influenciam o seu envelhecimento. A *ambiência* abrange não só o meio material em que nos inserimos como também o efeito moral que o espaço físico induz no comportamento do indivíduo. Assim, é o espaço, arquitetonicamente organizado e

ativo, que constitui um meio físico e psicológico especialmente preparado para o exercício da atividade humana. (Bestetti, 2014)

Em relação ao meio físico, os ambientes acústico, visual e térmico assumem um papel particular, uma vez que interagem diretamente com os sentimentos humanos. O som é um estímulo importante numa atmosfera criativa e o uso conjugado de luz natural e artificial por todo o edifício permite criar um ambiente que estimula a concentração e permite minimizar as distrações visuais. (Bestetti, 2014)

No entanto, é o ambiente térmico que induz o maior efeito físico e emocional no corpo humano. Sendo, por isto, um parâmetro de enorme importância no projeto de um edifício. Considera-se conforto térmico quando, à temperatura corporal normal, a taxa de produção de calor pelo corpo humano iguala a taxa de perda. É de salientar que existem vários fatores que influenciam o modo como se gera calor, tais como a atividade física, mental e o metabolismo e, pelo contrário, a humidade, a temperatura e a velocidade do ar, as roupas, o isolamento corporal natural, influenciam as perdas de calor. (Almusaed, 2011, Lanham et al, 2004)

O conforto térmico de um ambiente interior depende da ação simultânea de quatro parâmetros, nomeadamente, temperatura do ar interior, humidade relativa, velocidade do ar e a temperatura da superfície dos elementos construtivos. (Almusaed, 2011)

Posto isto, a Arquitetura Bioclimática torna-se uma opção construtiva de elevada pertinência que permite criar um espaço físico, estimulante e prazeroso que possibilita as melhores condições de permanência com a máxima sensação de bem-estar e conforto. (Lanham et al, 2004)

#### **2.2.4 Arquitetura vernacular**

Para que um projeto seja considerado sustentável todas as dimensões da sustentabilidade têm de ser ponderadas, nomeadamente, ambiental, económica, social e cultural. Os objetivos de um projeto de construção mais sustentável são retirar o melhor partido do meio envolvente, a preservação da identidade cultural e regional, a otimização do consumo de energia e das práticas de operação e manutenção, a conservação e proteção dos recursos hídricos, o uso de materiais ecológicos e a criação de um ambiente interior saudável e confortável.

A arquitetura vernacular é um tipo de construção que materializa os diversos condicionalismos dos locais em que se insere a construção, nomeadamente, climáticos, geológicos, económicos

---

e culturais, caracteriza-se pela sua simplicidade e por desenvolver estratégias de adaptação ao meio envolvente assim como racionalização dos recursos disponíveis. A arquitetura vernacular constitui, por isto, uma estratégia de construção muito relevante para o contexto de construção sustentável e para o plano energético atual.

As diversas assimetrias do território português, ao nível topológico, geográfico e climático conduziram a várias manifestações da arquitetura vernacular e analisando as diversas estratégias adotadas, destacam-se os seguintes princípios da sustentabilidade:

**Gestão do território e uso do solo:** Uma gestão organizada do território é fundamental na conceção de uma sociedade sustentável e contribui para o uso eficiente do solo, ao definir a sua ocupação em função das suas características, gerindo desta forma as áreas mais adequadas para edificação, para as atividades agropecuárias e de proteção ecológica.

**Estratégias passivas de climatização:**

- **Captação de ganhos solares** – A organização e hierarquização dos espaços em função do sol permite, de forma passiva, melhorar o desempenho térmico e luminoso, reduzindo, de forma simultânea, as necessidades de energia de fontes não renováveis para climatização e iluminação.
- **Arrefecimento passivo** – As estratégias de arrefecimento passivo utilizadas na arquitetura vernácula portuguesa são: soluções de sombreamento, sistemas construtivos com elevada inércia térmica, uso de vegetação, promoção da ventilação, superfícies exteriores claras, pátios e alpendres. Estas soluções são de fácil e económica execução e a sua utilização contribui para reduzir as necessidades energéticas para o arrefecimento do edifício.

**Uso de materiais e técnicas locais:** A utilização de materiais locais apresenta vantagens tais como baixos custos de transporte, não necessitam de processamento e, conseqüentemente, permitem a redução das emissões de dióxido de carbono, são materiais renováveis e biodegradáveis e implicam baixa manutenção com baixo custo. Além disto, estes materiais são, frequentemente, processados manualmente o que implica a criação de postos de trabalho e fortalecimento da economia local.

Assim, estes princípios de sustentabilidade podem e devem ser aplicados à arquitetura contemporânea tanto em novas construções como em reabilitações.

(Fernandes et al, 2016)

## 2.2.5 Gestão de energia num edifício bioclimático

---

Com o intuito de potenciar a eficiência energética de um edifício e promover a saúde e bem-estar dos seus utilizadores, a Arquitetura Bioclimática permite conceber edifícios estrategicamente posicionados em relação ao clima do local em questão. Desta forma, é possível encontrar um equilíbrio entre as amplitudes térmicas, adequada às diversas atividades humanas.

No que concerne à temperatura do ar, esta intervém na envolvente do edifício, provocando trocas de calor e fluxos energéticos do interior para o exterior, resultando em perdas térmicas, geralmente durante o inverno. São essas perdas térmicas que fazem com que as temperaturas interiores de um edifício diminuam, tornando-se um ponto fundamental a ter em atenção na elaboração de um projeto pois a redução dessas perdas corresponde a um ambiente interior mais confortável. Normalmente, as medidas encontradas baseiam-se em soluções de isolamento térmico e/ou utilização de vidros duplos. Por sua vez, durante o verão, o fluxo inverte-se quando a temperatura exterior é superior à interior, convertendo-se em ganhos térmicos. Isso ocorre em determinadas horas do dia devido à radiação solar incidente, contribuindo assim, para o aumento da carga térmica do edifício. (Gonçalves, 2004 e Sousa, 2018)

A radiação solar é uma variável essencial para o conforto térmico de qualquer edifício. No inverno representa uma fonte de calor e energia muito significativa uma vez que contribui para o aumento da temperatura interior. No sentido oposto, durante o verão, corresponde a uma fonte de calor a evitar. (Gonçalves, 2004)

Assim sendo, é importante conhecer o movimento do sol, no decorrer do dia, durante as diferentes estações do ano, por forma a esta estabelecer a melhor estratégia para aproveitar os ganhos solares sempre que estes contributos sejam benéficos ou evita-los quando tal efeito seja desnecessário. (Gonçalves, 2004)

O desenvolvimento de um projeto que se debruce sobre o espaço exterior constitui um investimento a longo prazo que permite diminuir os custos de aquecimento e arrefecimento de um edifício através da proteção contra o vento no inverno e o sol no verão. Ao conjugar a vegetação existente, a geologia e topografia do local, através de um projeto paisagista, é possível criar um microclima específico e controlar a poluição e o ruído a que esse local vai estar sujeito assim como reduzir o consumo de água, pesticidas e combustível necessários para a manutenção do espaço verde. (Almusaed, 2011)

### **2.2.6 Arquitetura Solar Passiva em Portugal**

A Arquitetura Solar Passiva é um conceito muito semelhante à Arquitetura Bioclimática. No entanto, apenas considera os ganhos energéticos oriundos do sol, já a Arquitetura Bioclimática considera as características ambientais do local assim como a sua envolvência climatérica.

Para melhor compreender a aplicabilidade da Arquitetura Solar Passiva em Portugal é fundamental estabelecer a disponibilidade anual da radiação solar no continente português. Cavaco et. al. apresentaram um estudo, em dezembro de 2016, baseado na recolha de dados de radiação solar global num plano horizontal da rede de medida do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), durante um período de 5 anos. Após a análise e tratamento dos dados, fez-se o processamento geográfico da informação para realização de mapas representativos dos resultados obtidos. Abaixo é apresentado o mapa da disponibilidade anual de radiação solar global em Portugal Continental. (Cavaco, 2016)

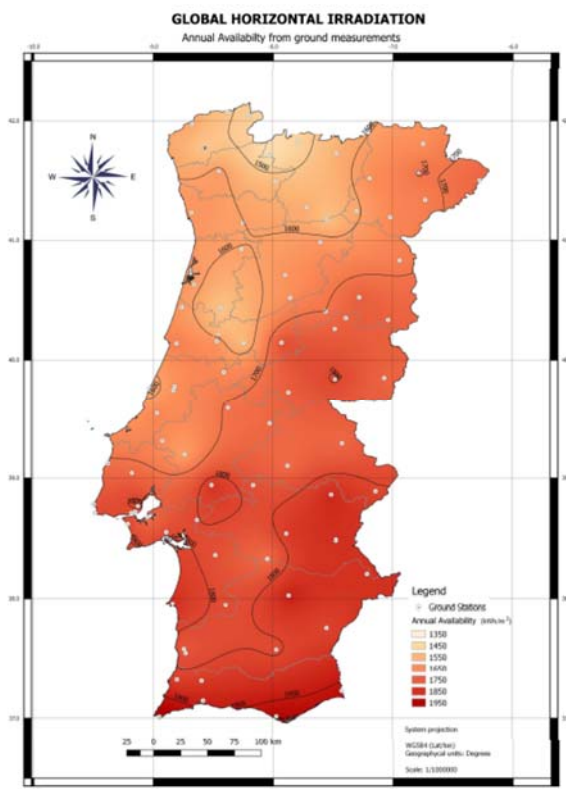


Figura 2.5 - Disponibilidade anual de radiação solar global (kWh/m<sup>2</sup>). (Cavaco, 2016)

Graças a esta análise pode-se concluir que os menores valores de radiação solar ocorrem na região noroeste de Portugal. O Parque Nacional da Peneda-Gerês destaca-se por ser onde o valor de radiação média anual é inferior a 1600kWh/m<sup>2</sup>. Por outro lado, a bacia do Guadiana e a Orla Algarvia destacam-se por serem as zonas onde a radiação recebida é superior a

1900kWh/m<sup>2</sup>. É também possível verificar que a radiação solar em Portugal Continental é superior no Sul e no Interior, tornando-se gradualmente menor no Norte e no Litoral. Estas diferenças substanciais também se devem à ocorrência de períodos mais longos de nebulosidade, nevoeiros, ao conteúdo de água precipitável na atmosfera e outros fenómenos atmosféricos, característicos destas zonas e que influenciam a disponibilidade anual de radiação solar. (Cavaco, 2016 e Sousa, 2018)

O fator mais importante a ter em conta na construção de um edifício solar passivo é a disponibilidade de radiação solar no local. Assim, é de extrema importância promover os ganhos de radiação através de abertura de vãos envidraçados orientados para Sul.

É importante referir que o clima aparentemente ameno em Portugal conduziu à não instalação de sistemas centrais de aquecimento e arrefecimento na maioria dos edifícios com exceção dos edifícios de serviços ou comerciais. (Sacht et al, 2013)

Para um melhor controlo térmico das habitações em Portugal, as medidas a implementar estão relacionadas com a orientação, o dimensionamento da área envidraçada, a massa térmica, o isolamento térmico, o controlo das infiltrações e a ventilação natural. (Tavares, 2012)

### **2.2.7 Isolamento térmico**

A presença de isolamento térmico é fundamental num edifício, uma vez que evita a transferência de calor entre o interior e o exterior do edifício. A sua presença deve ser considerada tanto para superfícies opacas como em superfícies envidraçadas, uma vez que é um dos pontos fulcrais na absorção e perda de radiação solar. Assim, o material isolante permite reduzir a taxa de transferência de calor tanto por condução, convecção, radiação ou mesmo uma combinação de todas.

O isolamento térmico apresenta várias funções numa construção:

- Conservação e poupança de energia
- Controlo das trocas de energia
- Controlo da condensação
- Proteção contra o fogo

Existem dois tipos de isolamento que intervêm no controlo do ambiente do edifício, nomeadamente, isolamento fixo e isolamento móvel.

No que concerne ao isolamento fixo, este deve ser instalado por forma a criar uma construção hermética e a evitar as pontes térmicas ou descontinuidades.



Em relação ao isolamento móvel, este tem como propósito ajustar-se à estação do ano em que se encontra. A sua adaptação às amplitudes térmicas sentidas no verão e no inverno permite o controlo das trocas energéticas e, conseqüentemente, melhorar o conforto térmico do edifício.

É importante referir que o isolamento térmico pode ser aplicado na reabilitação de um edifício por forma a melhorar a sua performance energética. No entanto, devem ser tidos em conta os aspetos arquitetónicos do edifício e as limitações técnicas dos materiais, sendo estes pressupostos importantes na escolha da estratégia de isolamento. Por forma a superar algumas barreiras construtivas, o isolamento térmico pode ser aplicado no interior da parede. (Almusaed, 2011)

### **2.2.8 Paredes e Coberturas Verdes**

O potencial dos edifícios verdes em melhorar as condições térmicas do interior de um edifício assenta no efeito de sombra resultante da vegetação e pelas propriedades de isolamento térmico dos elementos que compõem o telhado ou parede verde. Estes sistemas de construção aumentam o desempenho térmico dos edifícios, isto é, os sistemas verdes em paredes ou telhados são responsáveis pela atenuação das trocas térmicas e pelo efeito de arrefecimento via evapotranspiração. A vegetação instalada fornece sombra e absorve a radiação solar no seu processo de fotossíntese. Além disto, os solos absorvem e armazenam calor durante o dia e libertam-no lentamente durante a noite, atrasando desta forma, o processo de transferência de calor. Este fenómeno tem um impacto bastante significativo no balanço energético do edifício e no conforto térmico do espaço externo. No entanto, os edifícios verdes, apresentam algumas desvantagens, tais como, o aumento dos custos de manutenção, o aumento da carga sobre a estrutura do edifício, a degradação mais rápida das impermeabilizações, a escolha das plantas condicionada pelo clima do local, entre outras. (Nantes, 2017)

### **2.2.9 Iluminação através de túneis de luz**

O sistema de iluminação através de túneis de luz permite redirecionar a luz natural até espaços interiores, reduzindo desta forma a utilização de luz elétrica durante o dia.

Este sistema é composto por uma cúpula coletora instalada no telhado do edifício que permite a entrada da luz num tubo cilíndrico de alumínio com o seu interior revestido por folhas de prata. Este tubo faz a ligação do telhado ao teto da divisão e permite a iluminação natural, independentemente das condições climáticas, isto é, é eficaz tanto num dia solarengo como chuvoso.

É de salientar que este sistema não contribui significativamente para o aquecimento do espaço interior tendo apenas como desvantagem o possível excesso de luz nos meses de verão. Esta desvantagem pode ser minimizada pela instalação de um mecanismo de sombreamento. No que concerne à saúde e bem-estar dos ocupantes do edifício, é mais saudável a exposição à luz natural direta do que à luz elétrica, constituindo uma das principais vantagens deste sistema.

É também importante planejar o posicionamento da cúpula coletora por forma a evitar o efeito de sombreamento de chaminés ou de outros elementos construtivos.

Por forma a maximizar a exposição solar direta, é possível instalar sensores e um relógio interno neste sistema para que seja possível seguir o movimento do sol. (Almusaed, 2011)

### **2.2.10 Iluminação através de prateleiras de luz**

As prateleiras de luz são um sistema composto por espelhos que refletem a luz solar incidente em direção ao teto e paredes, distribuindo a luz pelo espaço interior e tem como objetivo obter maior uniformidade luminosa reduzindo os problemas de ofuscamento causado pelo excesso de luminosidade das superfícies iluminadas diretamente pelos raios solares.

Por forma a criar um sistema útil de iluminação, as prateleiras devem ser colocadas acima do nível dos olhos.

É importante referir que a distribuição da luz pelas prateleiras não acrescenta energia sob a forma de calor à divisão em questão.

Como desvantagem das prateleiras comuns aparece a necessidade de manutenção constante, devido ao depósito de poeira, neve ou eventuais animais ou insetos que possam ali se instalar.

### **2.2.11 Sistemas passivos de arrefecimento**

Os sistemas passivos de arrefecimento utilizam as fontes frias existentes, diminuindo assim, a temperatura no interior dos edifícios. Posto isto, estes sistemas podem eliminar ou diminuir significativamente a necessidade de utilização de um sistema de climatização convencional, contribuindo desta forma para a melhoria das condições do conforto térmico.

As técnicas mais simples e eficazes de arrefecimento passivo consistem em impedir a radiação solar direta de entrar no edifício. Tal pode ser conseguido através de opções arquitetónicas, tais

---

como a utilização de sombreamento exterior, o tipo de vidro utilizado, utilização de isolamento na envolvente dos edifícios, ter em atenção as coberturas dos edifícios, a própria cor do edifício e a sua massa térmica.

É também importante considerar que durante o verão temos o solo e o ar exterior como excelentes fontes frias. O solo apresenta temperaturas inferiores às do ar exterior e em determinadas horas do dia (manhã e noite), o ar exterior apresenta uma temperatura inferior à do interior dos edifícios. Assim, podemos utilizar esta amplitude térmica como estratégia efetiva de ventilação, principalmente à noite e início da manhã.

Podemos concluir que o arrefecimento passivo é condicionado pela existência de ambientes favoráveis que atuem como fontes frias e de gradientes de temperaturas que permitam a ocorrência de processos de transferência significativos. (Gonçalves, 2004)

#### **2.2.11.1 Arrefecimento por sombreamento**

O uso de sistemas de sombreamento constitui uma estratégia de arrefecimento passivo e é essencial para a proteção do edifício contra ganhos solares excessivos permitindo a diminuição do consumo energético para arrefecimento. Simultaneamente, estes sistemas possibilitam adequados níveis de iluminação natural reduzindo a necessidade de iluminação artificial.

Um dos aspetos mais importantes a ter em consideração na conceção do arrefecimento por sombreamento é a orientação da área a ser sombreada. As janelas orientadas para sul são mais fáceis de sombrear uma vez que durante o verão o ângulo da incidência solar é mais alto. Por outro lado, janelas voltadas para este ou oeste são mais difíceis de sombrear pois o ângulo de incidência solar é mais baixo.

No que concerne ao tipo de sombreamento a adotar numa estratégia de arrefecimento passivo, o sombreamento exterior é o mais indicado. Isto porque os raios solares ao atingirem o dispositivo dispersam antes de alcançar o vidro, diminuindo os ganhos de calor. Além disto, reforçam o arrefecimento ao permitirem a circulação do ar.

Em função da possibilidade de manuseamento, os sistemas de sombreamento classificam-se em fixos ou móveis. Um sistema de sombreamento fixo é parte integrante do exterior do edifício, estando presente na fase de conceção do projeto de arquitetura e, por isto, permite potenciar o arrefecimento do edifício e conseqüentemente, o processo de poupança energética. No entanto, apenas proporciona sombreamento adequado em determinados momentos do dia e em certas estações do ano, o que limita a sua eficácia no que diz respeito à diminuição dos ganhos de

calor. São exemplos de sistemas de sombreamento fixos as palas horizontais ou verticais, lamelas horizontais ou verticais, arcadas e galerias. Por outro lado, o sistema móvel pode ser controlado manual ou automaticamente, tendo em conta as necessidades de conforto e temperatura daquele instante. Portadas, toldos retrácteis, telas de rolo, estores de lâminas ajustáveis, cortinas e venezianas são alguns exemplos de sistemas de sombreamento móveis.

É de salientar que existem sistemas de sombreamento exteriores automatizados e controlados por diferentes sensores, capazes de reagir ao movimento do sol, aos gradientes de temperatura e à intensidade de luminosidade.

A utilização de plantas para sombreamento permite diminuir a luminosidade e os ganhos térmicos do edifício, principalmente das janelas. O sombreamento de telhados e paredes do edifício torna-se, desta forma, importantíssimo para reduzir os ganhos térmicos no verão. A utilização de árvores de folha caduca permite o sombreamento do edifício no verão e, por sua vez, permite a passagem da luz e radiação solar nos meses de inverno.

No entanto, é importante referir que a utilização do processo de arrefecimento por sombreamento não é por si só eficaz na diminuição da temperatura interior dos edifícios. Para criar um sistema de arrefecimento eficiente, é necessária a conjugação de vários sistemas de arrefecimento como por exemplo, por ventilação e por sistemas evaporativos. (Almusaed, 2011 e Palhinha, 2009)

#### **2.2.11.2 Arrefecimento por ventilação**

A ventilação de um edifício detém um papel importante no seu desempenho térmico e energético, na qualidade do ar interior bem como no conforto térmico dos seus ocupantes e consiste na troca de ar que se encontra no interior do espaço por ar fresco, relativamente mais limpo, proveniente do exterior. (Almusaed, 2011)

São diversas as razões que justificam o papel importante que a ventilação desempenha num edifício, destacando-se a renovação do ar, necessária ao metabolismo saudável dos ocupantes do edifício e a diminuição do teor de humidade interior, com consequente diminuição da ocorrência de condensações. No verão, a ventilação promove o arrefecimento dos espaços interiores e produz o arrefecimento da pele dos habitantes, por contacto com o ar em movimento. (Almusaed, 2011)

Na ventilação natural de edifícios, o fluxo de ar é originado pelas pressões geradas pelo vento na envolvente do edifício e/ou pelas diferenças de densidade do ar, consequência das diferenças

---

de temperatura entre o interior do edifício e o ambiente externo. Neste tipo de ventilação a entrada de ar exterior é efetuada através de aberturas na fachada, por portas e janelas. (Santos, 2017)

Geralmente, as aberturas na fachada são equipadas com grelhas. Estas podem ser de três tipos, fixas, reguláveis e autorreguláveis.

- **Grelhas fixas** – dispositivos geralmente utilizados para ventilação natural de espaços, com uma área útil constante e sem permitir a sua interrupção.
- **Grelhas Reguláveis** – dispositivos com uma área de passagem de ar regulável, permitindo o controlo manual da ventilação através do controlo da área útil.
- **Grelhas Autorreguláveis** – dispositivos de entrada de ar que permitem a obtenção de um caudal de ar aproximadamente constante, dentro de uma determinada gama de gradientes de pressão. Estas aberturas funcionam com base na diferença de pressão entre o interior e o exterior do edifício, fechando automaticamente quando detetam diferencial de pressão negativo. Perante um diferencial positivo a grelha ajusta automaticamente a área útil de passagem do ar de forma a garantir que o caudal que atravessa a grelha é aproximadamente constante.

Tanto as grelhas referidas como as portas e janelas podem ser operadas manual ou automaticamente, integradas num sistema de gestão do edifício.

Na fase de conceção do projeto do edifício, é necessário equacionar a localização das aberturas na fachada, por forma a favorecer os mecanismos de ventilação natural e evitar eventuais problemas de contaminação do ar, especialmente no caso de edifícios localizados em zonas com elevados níveis de poluição. Posto isto, as aberturas podem localizar-se apenas numa fachada ou em fachadas opostas e adjacentes, ocorrendo assim ventilação unilateral ou ventilação cruzada. (Verdelho, 2008)

A ventilação cruzada é gerada por aberturas em lados opostos de um espaço fechado. Para ter um fluxo de ventilação suficiente deve haver uma diferença significativa na pressão do vento entre as aberturas de entrada e saída. Por sua vez, a ventilação unilateral refere-se à ventilação gerada por aberturas colocadas numa mesma fachada. É de destacar que as forças motrizes para ventilação unilateral são relativamente pequenas e são altamente variáveis e este sistema de ventilação acaba por ser eficaz quando se pretende ventilar apenas um compartimento do edifício. (Santos, 2017)

Por sua vez, a ventilação natural por efeito de chaminé é produzida pelo gradiente térmico que cria uma diferença entre as densidades do ar exterior e interior.

---

Com os ganhos térmicos internos do edifício, o ar fica mais quente e menos denso, tendo tendência a subir, gerando pressões positivas no topo e negativas na parte inferior do edifício. Como consequência, o ar que se encontra no exterior entra pelas zonas baixas do edifício e o ar interior, mais quente, sai pela parte superior do edifício onde a pressão do interior é superior à pressão do exterior, criando-se assim o efeito da impulsão térmica. (Santos, 2017)

Posto isto, a técnica da ventilação natural pode ser usada para promover o arrefecimento desde que a temperatura e a humidade estejam dentro dos limites de conforto. Este processo é adequado a zonas com clima moderado onde as temperaturas permitem o seu uso durante alguns períodos do dia e durante a noite. Por sua vez, em zonas de clima quente, a temperatura exterior não permite o seu uso durante o dia, estando a sua utilização limitada à ventilação noturna, desde que, a temperatura noturna não seja demasiado baixa para não causar desconforto no interior do edifício. (Almusaed, 2011)

A ventilação noturna está associada ao processo de arrefecimento do ar interior e dos elementos da envolvente com capacidade de armazenamento de calor através da circulação de ar a uma temperatura mais baixa, durante o período noturno. Tal processo permite que, durante o dia, estes elementos arrefecidos possam servir como dissipadores de calor através de processos radiativos e convectivos. Para que este efeito se verifique, o edifício não deve ser ventilado durante o dia para impedir que o ar exterior mais quente não aqueça o seu interior. Além disto, é necessário que o edifício esteja isolado termicamente de forma adequada e que os elementos de grande massa não estejam obstruídos, por exemplo, por tetos falsos. Como resultado, a temperatura interior do edifício será consideravelmente inferior à temperatura exterior e mais baixa do que a temperatura de um edifício similar que não seja ventilado em período noturno. (Almusaed, 2011 e Verdelho, 2008)

Além dos sistemas apresentados, destacam-se também a utilização de átrios e jardins como elementos arquitetónicos que compõe zonas de transição com um microclima modificado e que permitem aumentar o fluxo de ar no edifício, as torres de vento, ou também denominadas torres de arrefecimento, cujo funcionamento permite a entrada de ar por uma das torres, a sua circulação ao longo do edifício e a sua extração por outra torre, situada no lado oposto do edifício e isolada para que a temperatura no seu interior seja próxima da temperatura interior do edifício. A torre de entrada é mantida a uma temperatura próxima do exterior para promover este gradiente de temperaturas e conseqüente fluxo de ar desde a torre de entrada até à torre de extração. É importante referir também o sistema de arrefecimento do ar por condutas enterradas que permite, graças à temperatura uniforme do solo em profundidade, a admissão de ar no edifício para que ocorra o arrefecimento do seu interior no verão e o seu aquecimento no

inverno. Este sistema consiste na instalação de uma rede de condutas nas fundações do edifício, ligada numa extremidade a uma abertura para entrada de ar e na outra extremidade ao sistema de ventilação do edifício. (Giesta, 2019 e Verdelho, 2008)

Em suma, a instalação de sistemas de ventilação num edifício contribui para reduzir os gastos de energia com o arrefecimento ao permitir, simultaneamente, melhorar as condições de conforto térmico dos ocupantes tanto pela remoção de ar interior (que se encontra a uma temperatura superior) e a sua substituição por ar vindo do exterior (que se encontra a uma temperatura inferior) como pela diminuição da temperatura corporal dos ocupantes através dos mecanismos de convecção, radiação e transpiração. No entanto, o funcionamento destes sistemas de ventilação está condicionado pelas condições do ambiente exterior, sendo essencial que a temperatura exterior seja inferior à temperatura interior. Além disto, apresentam-se problemas relacionados com a perda de privacidade, segurança, ruído, poluição, redução da velocidade do vento e controlo da humidade. Salienta-se que, em climas húmidos, o controlo do teor de humidade e da ocorrência de condensações é muito importante. (Santos, 2017 e Verdelho, 2008)

### **2.2.11.3 Arrefecimento através de sistemas evaporativos diretos e indiretos**

O arrefecimento através de sistemas evaporativos baseia-se na descida da temperatura relacionada com a mudança de fase da água do estado líquido para o estado de vapor.

As técnicas passivas diretas recorrem à vegetação para promover a evapotranspiração, à construção de piscinas, fontes e lagos artificiais. Trata-se de uma técnica em que há aumento do conteúdo de vapor de água. No que diz respeito às técnicas passivas indiretas, não há aumento do conteúdo de vapor de água e baseiam-se no arrefecimento da superfície exterior e do ar quente do interior através da evaporação. (Gonçalves, 2004)

### **2.2.11.4 Arrefecimento por inercia térmica da Terra**

Este processo baseia-se no facto de, no verão, o solo apresentar temperaturas inferiores às do ar exterior. Desta forma, apresenta-se como uma fonte de dissipação de calor que pode ocorrer de forma direta ou indireta. No caso do arrefecimento por contato direto, o edifício encontra-se ligado ao solo por condução através de alguns elementos como paredes, pavimento, entre outros. Em relação ao arrefecimento por contato indireto, o interior do edifício está associado a condutas subterrâneas. A eficácia deste sistema é dependente da dimensão e profundidade da conduta assim como da velocidade do ar que circula no seu interior. (Gonçalves, 2004)

### **2.2.11.5 Arrefecimento Radiativo**

Trata-se de uma técnica na qual se utiliza a emissão de radiação a partir da envolvente exterior de um edifício como forma de arrefecimento do mesmo. Estas perdas ocorrem durante os períodos diurnos e noturnos, tratando-se de um processo contínuo. No período noturno estes efeitos são mais notórios devido à ausência de radiação solar direta. (Gonçalves, 2004)

### **2.2.12 Sistemas de aquecimento passivo**

Os sistemas destinados ao aquecimento passivo são parte integrante da construção e funcionam como coletores e acumuladores da energia solar que neles incide. Funcionam também como agentes de distribuição da energia por processos naturais de transferência.

Estes sistemas visam maximizar a captação da radiação solar graças a vãos envidraçados aos quais se podem associar outros elementos massivos. Estes elementos permitem armazenar energia solar e a sua posterior utilização. É importante referir que é essencial que os vãos envidraçados sejam bem orientados e dimensionados. (Gonçalves, 2004)

Os sistemas de aquecimento passivo são classificados em ganhos diretos, ganhos indiretos e ganhos isolados. (Ferreira, 2015, Gonçalves, 2004 e Moita, 2010)

#### **2.2.12.1 Ganho direto**

Baseia-se na captação da radiação solar para o interior do espaço habitado através de vãos envidraçados bem orientados. É de extrema importância que o material do interior da habitação tenha a capacidade de absorver a radiação solar durante o dia e depois do pôr-do-sol consiga aquecer o ar interior por convecção. Por isto, é recomendado que as paredes e pavimento sejam constituídos por materiais com capacidade de acumular energia térmica e alto poder de absorção da radiação solar. No entanto, este sistema só será eficaz se na construção for integrado isolamento térmico, sombreadores de uso sazonal e mecanismos de ventilação natural que permitam um correto balanço térmico.

Os custos deste sistema são baixos, apresenta um maior rendimento energético, iluminação natural e a uma grande flexibilidade na sua conceção e funcionamento simples. No entanto, destaca-se a possível perda de privacidade, quando se opta por grandes vãos envidraçados, a radiação direta pode provocar degradação dos materiais utilizados no interior e pode ocorrer sobreaquecimento em dias de maior incidência de radiação solar.



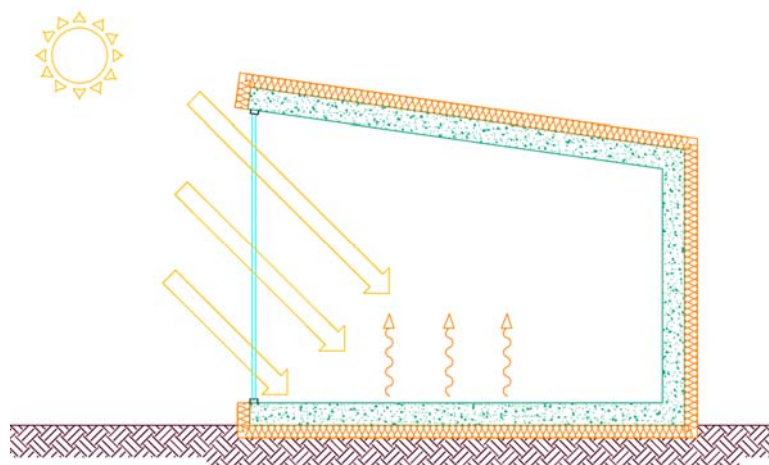


Figura 2.6 - Ganhos diretos. Adaptado de Moita(2010)

### 2.2.12.2 Ganho indireto – Parede de Trombe, Parede Massiva e Colunas de água

Este sistema consiste na captação de radiação solar por meio de uma parede coletora construída com materiais pesados como betão, pedra, contentores de água, entre outros. Esta parede situa-se entre o espaço que se pretende aquecer e o vidro que forma a barreira física para o exterior. Esta parede tem como objetivo armazenar o calor produzido durante a exposição solar e conduzi-lo para o interior do espaço onde se vai propagar por convecção e radiação. Esta transferência da energia solar pode ser feita de forma imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação de ar adotada.

É importante referir que a superfície da parede exposta ao sol deve ser pintada de cor escura mate por forma a aumentar a sua capacidade de absorção da radiação solar. É de salientar que, ao contrário do sistema de ganho direto, as paredes solares permitem temperaturas amenas no espaço interior tanto em dias de forte insolação como em dias de fraca radiação. Tal facto deve-se às propriedades de armazenamento e inércia térmica destas paredes. Desta forma, a aplicação deste sistema é adequada para climas com elevada percentagem de radiação direta na estação fria.

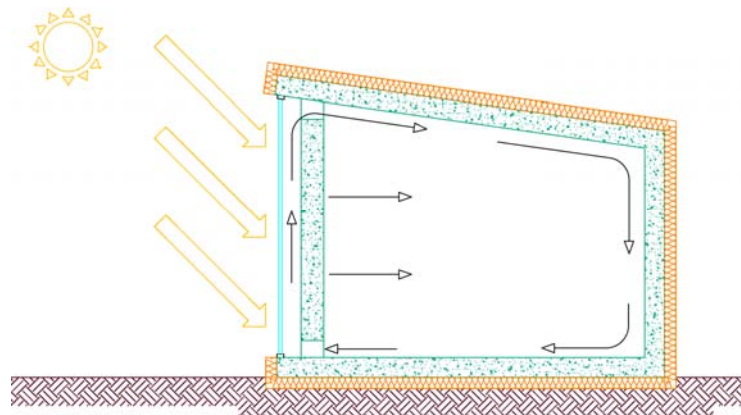


Figura 2.7 - Ganhos indiretos. Adaptado de Moita(2010)

### 2.2.12.3 Ganho isolado – Espaço Estufa ou Coletor de Ar

Este sistema resulta da combinação dos princípios térmicos dos dois sistemas anteriores. Propõe-se a criação de um espaço fechado que não se encontre nas áreas ocupadas dos edifícios, coberto de vidro e de uma massa acumuladora térmica. Esta massa acumuladora térmica é normalmente o pavimento e a parede adjacente à divisão que se pretende aquecer.

A energia retida no espaço da estufa pode ser transmitido diretamente por circulação de ar ou pode ser armazenada pela parede acumuladora e posteriormente aquecimento por condução e radiação. É indispensável que haja um equilíbrio entre a área de captação solar e a massa de armazenamento térmico. Caso contrário, facilmente terão lugar elevadas amplitudes térmicas e excessos de temperatura.

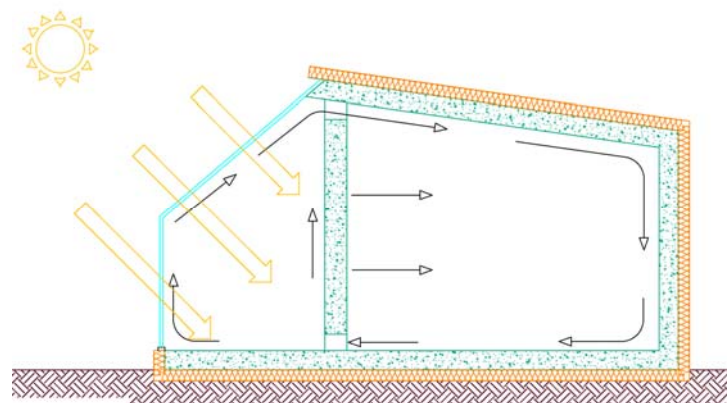


Figura 2.8 - Ganhos separados. Adaptado de Moita(2010)

## **2.3 Conclusões para o desenvolvimento da tese**

### **2.3.1 No domínio da automação e domótica**

No Capítulo 2.1 da presente dissertação foram estudados três diferentes sistemas de domótica e automação, sendo que, foram analisados ao nível das funcionalidades, vantagens, custos, capacidade da rede e a adequabilidade ao tipo de instalação.

Depois da análise feita, optou-se por utilizar o sistema KNX pois é um sistema totalmente descentralizado, tem uma grande capacidade no que respeita à quantidade de dispositivos e possui elevadas velocidades de transmissão de dados. Além disto, caso haja a necessidade de aumentar a rede apenas será necessário ligar os novos dispositivos à rede existente e proceder à sua configuração. Este sistema é também muito direcionado para o setor residencial e edifícios de serviços e comércio.

Uma vez que este sistema tem cerca de 25 anos de existência, está já bem desenvolvido pelas marcas que produzem dispositivos segundo esta norma. Assim sendo, existe bastante informação sobre o sistema, a sua instalação e programação. Desta forma, conclui-se que o KNX é o protocolo que apresenta mais vantagens para a elaboração deste projeto.

### **2.3.2 No domínio da Arquitetura Bioclimática**

No Capítulo 2.2 foi feita uma análise sobre a Arquitetura Bioclimática, pelo que foi possível verificar que é um tema muito extenso, que se apoia num conceito de sustentabilidade e consciência ambiental, procurando integrar e adequar a arquitetura ao ambiente envolvente.

Ao longo desse capítulo, foi possível verificar que existem muitas formas de integrar conceitos inerentes a este tema e que podem ser aplicados nos dias de hoje. São exemplo disso coberturas e paredes verdes, a utilização de luz natural, aproveitamento da radiação solar, diferentes formas de refrigeração sem recurso a bombas de calor ou ventiladores, entre outros.

Devido à elevada quantidade de sistemas apresentados, foi necessário restringir a sua utilização no projeto a ser desenvolvido ao longo da dissertação, uma vez que não seria possível em tempo útil desenvolver e automatiza-los a todos.

Desta forma, foram escolhidos dois sistemas que são mais dominados e conhecidos pelos engenheiros civis e com os quais estamos mais envolvidos, um para a estação de aquecimento

---

e outro para a estação de arrefecimento. São eles a Parede de Trombe ventilada, no âmbito da arquitetura solar passiva, e a ventilação noturna, no âmbito do arrefecimento passivo.

A parede de Trombe foi escolhida pois o projeto será construído em Amarante. Esta cidade tem um microclima muito específico, sendo que, no inverno atinge temperaturas bastante baixas pois sopram os ventos frios vindos da serra do Marão, pelo que é importante aproveitar os ganhos solares e potenciá-los com a automação.

No que concerne à ventilação noturna, esta assume um papel importante na cidade de Amarante, uma vez que a mesma apresenta uma grande amplitude térmica dia/noite nos meses de verão. Durante o dia são atingidas elevadas temperaturas devido à sua localização próxima do interior do país e durante a noite as temperaturas baixam bastante uma vez que Amarante se situa nas margens do rio Tâmega. Tendo em conta que as habitações são maioritariamente de grande inércia térmica, a população procura utilizar a ventilação noturna para promover o arrefecimento das habitações e consequentemente, manter a temperatura interior das mesmas mais baixa durante o dia. Mediante estas características, a automação da ventilação noturna permitirá potenciar os benefícios da mesma.

## 3 TECNOLOGIA KNX

### 3.1 O standard KNX

KNX é a norma mundial para controlo de residências e edifícios comerciais, abrangendo desde o controlo de estores, de iluminação e até sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, sistemas de vigilância, segurança e alarme. Permite ainda a gestão energética do edifício ou habitação. (Soares, 2019)

A presente norma tem por base cerca de 25 anos de experiência no mercado, sendo que a KNX é precedida por outros sistemas como o EIB, EHS e BatiBUS. (Soares, 2019)

Seja no setor residencial ou no setor comercial, é crescente a procura de conforto, versatilidade, integração e controlo dos vários sistemas presentes no edifício. A gestão eficiente de energia tem-se tornado cada vez mais uma prioridade para os seus utilizadores. Esta eficiência pode ser conseguida através da monitorização e controlo inteligentes dos vários componentes envolvidos. Para isso, surgiu a necessidade da criação de um sistema que permita a comunicação, através de uma linguagem comum, entre todos os dispositivos eliminando assim mecanismos isolados.

Assim, além dos dispositivos comunicarem na mesma linguagem, é necessário interliga-los através de um meio KNX para ser possível a troca de informações. Existem três modos para a configuração deste *standard*, são eles: *S-Mode*, *E-Mode* e *A-Mode*. Sendo que os modos que atualmente são mais utilizados pelos fabricantes são os dois primeiros, uma vez que o último tem vindo a ser abandonado.

Posto isto, os fabricantes que desenvolvam produtos seguindo esta norma são livres de escolher o modo de configuração assim como o meio de transmissão, mas sempre com a finalidade de garantir que dispositivos de diferentes fábricas comuniquem entre si. (Merz et al, 2018)



Figura 3.1 - Logótipo do protocolo KNX

### 3.1.1 Associação KNX

A impulsionadora do KNX é a Associação KNX, que é formada por um grupo de empresas com muito do seu trabalho ligado a áreas relativas ao controlo de edifícios residenciais e comerciais.

Esta associação, tem atualmente, cerca de 500 membros associados, que promovem o desenvolvimento de sistemas de instalação de edifícios com soluções KNX, entre outras.

A Associação KNX tem ainda acordos de parceria com aproximadamente 85.000 empresas de instalação espalhadas por 190 países. Tem também parcerias com 120 universidades técnicas e 500 centros de formação KNX. KNX@(2020)

### 3.2 Principais características

Por existir uma procura crescente e continuada de sistemas de gestão de edifícios, o protocolo KNX destaca-se dos restantes por garantir maior comodidade, mais segurança e maior eficiência energética.

O KNX é um sistema de inteligência repartida, o que significa que cada dispositivo tem a sua própria inteligência e lógica, isto é, em caso de falha de um elemento, apenas as funções associadas a ele falharão e toda a restante instalação continuará em pleno funcionamento.

Numa instalação convencional, existem cablagens distintas para diferentes sistemas (alarmes, iluminação, estores, aquecimento, entre outros), o que constitui uma desvantagem uma vez que a quantidade de cabos na construção será muito elevada. Além disso, é também uma desvantagem na criação de cenários. Por exemplo, ao sair de casa pretende-se que toda a iluminação seja desligada, os estores sejam baixados, o aquecimento reduzido e os alarmes ligados. Nesta situação seriam necessárias várias ações para se obter o cenário pretendido.



Figura 3.2 - Instalação elétrica convencional. (Hager, 2020)

Numa instalação KNX existe uma linha BUS que percorre todos os dispositivos KNX e que permite a sua integração na instalação e uma linha de potência(230V) que faz a ligação dos dispositivos de saídas(atuadores) aos equipamentos eléctricos. Esta forma de instalação permite reduzir significativamente a cablagem total e conseqüentemente torna-a de mais fácil implementação. A simplicidade da sua instalação permite, a qualquer instante, a expansão da rede sem alterações significativas da mesma.

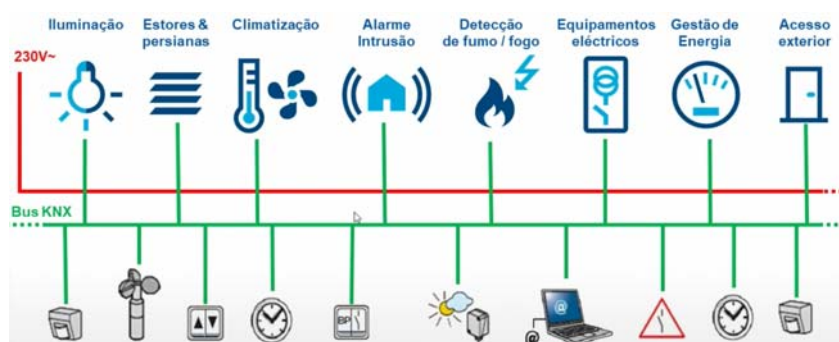


Figura 3.3 - Instalação elétrica com rede KNX. (Hager, 2020)

### 3.3 Meios de transmissão

Os meios de comunicação suportados pelo KNX são quatro. Sendo que, na mesma instalação, eles podem ser combinados e podem comportar mais que um modo de configuração. Assim, os fabricantes destes dispositivos devem optar pela melhor opção para satisfazer as suas necessidades.

A comunicação entre os dispositivos com diferentes meios de comunicação é possível devido à utilização de acopladores que são utilizados como uma ponte entre os diferentes meios.

Os diferentes meios de transmissão serão abordados em seguida.

### **3.3.1 KNX TP (twisted pair)**

Este cabo antecede o KNX e foi herdado da tecnologia EIB, sendo constituído por dois pares de condutores entrançados. É o meio mais frequentemente utilizado em novas instalações devido à facilidade da passagem dos cabos.

### **3.3.2 KNX RF (radio frequency)**

Os dispositivos com este meio de transmissão comunicam entre si via radio para transmitirem os sinais KNX. A frequência utilizada em dispositivos de baixo alcance é de 868 MHz e uma potência máxima irradiada de 25mW. Este meio de transmissão é particularmente interessante em reabilitações, onde muitas vezes não é possível a passagem de uma rede *bus* física.

### **3.3.3 KNX PL (power line)**

Uma outra opção para a transmissão de sinais KNX é a utilização da rede elétrica já existente, apresentando-se como uma boa opção para reabilitações. Este meio de transmissão derivou também da tecnologia EIB.

### **3.3.4 KNX IP (internet protocol)**

No KNX IP a informação é transmitida através de protocolos de redes TPC/IP. Como suportes físicos para esta transmissão temos os cabos CAT5, CAT6 e CAT7. Devido as normas de ITED, em Portugal, apenas são utilizados cabos CAT6 ou superiores.

Numa instalação KNX é possível transmitir dados por outros meios, além dos referidos anteriormente, nomeadamente, sinais infravermelhos e fibra ótica. Assim, com os vários meios de transmissão é possível abarcar diferentes tecnologias e funcionalidades, exemplo disso são os sistemas de videoporteiro, deteção de incêndio, deteção de instrução, entre outros.

## **3.4 Topologia da instalação**

---



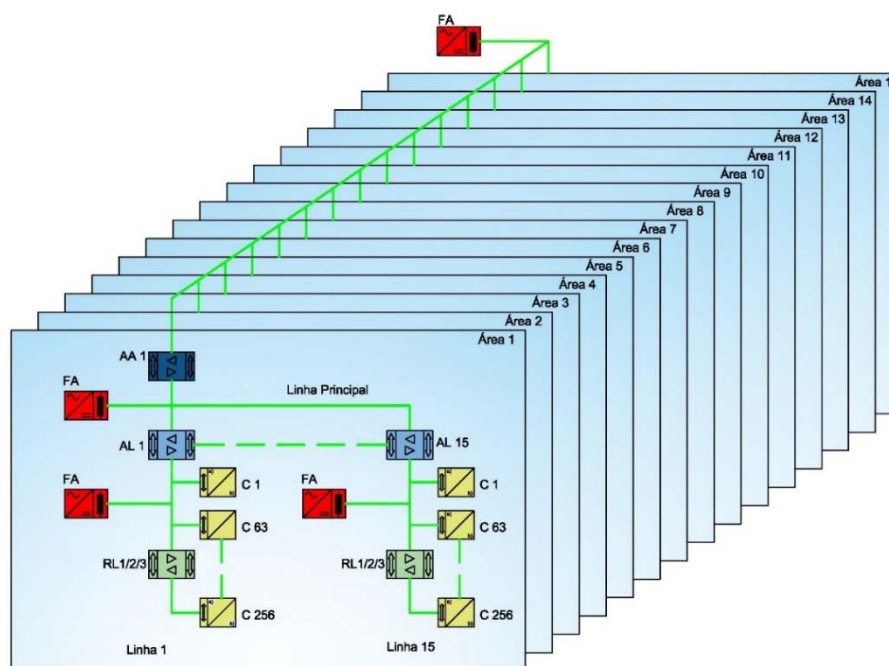


Figura 3.4 - Topologia de rede KNX. Adaptado de Schneider@2020

A imagem acima representa um exemplo de Topologia em árvore. Esta topologia baseia-se na estrutura convencional de instalações em edifícios.

Analisando a topologia apresentada, um sistema KNX é hierarquicamente estruturado:

- Componentes (C) estão atribuídos a Linhas (L);
- Várias Linhas estão ligadas a Acopladores de Linha (AL) e estes estão ligados a uma Linha Principal, formando uma Área (A);
- Em instalações de maiores dimensões, as diversas Áreas podem ser ligadas a uma Linha de Área (LA), através de Acopladores de Área (AA);
- Para cada uma destas Linhas é necessária uma Fonte de Alimentação (FA)

É importante referir que uma linha pode incluir, no máximo, 64 Componentes, sendo possível a utilização de 3 Repetidores de Linha (RL) em paralelo, para ampliar a capacidade da mesma para 256 Componentes. Podem ser agrupadas no máximo 15 Áreas e, por sua vez, uma Área pode agrupar até 15 Linhas. No total, uma instalação KNX pode ligar cerca de 58 000 Componentes. Schneider@2020

Assim, o sistema KNX apresenta-se como sendo um sistema padrão que engloba funções de diversos ramos técnicos. É por isto, um sistema com elevada flexibilidade além de que todas as funções podem ser constantemente configuradas sem danificar o edifício. Schneider@(2020)

### 3.5 Modos de configuração

A Norma KNX admite que os fabricantes optem pela forma de configurar os seus dispositivos, mediante o seu mercado alvo. Atualmente existem 3 modos de configuração que podem ser aplicados nos componentes KNX, *S-Mode*, *E-Mode* e *A-Mode*. O fabricante *Hager*, por exemplo, tem três segmentos de produtos KNX, *Tebis System*, *Tebis Easy* e *Tebis Quicklink*, respetivamente. (Mourinho, 2014)

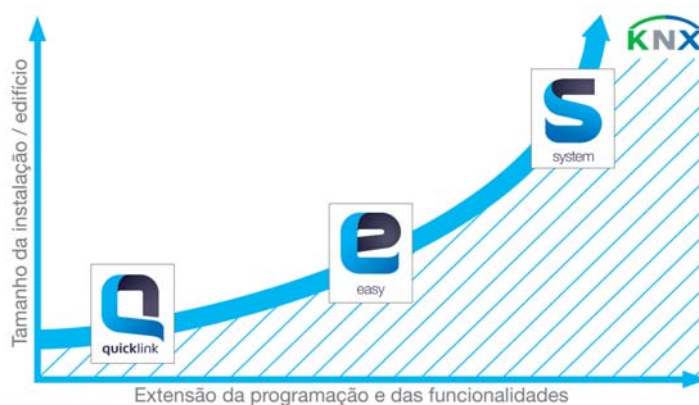


Figura 3.5 - Modos de programação Hager KNX. Hager, 2020

#### 3.5.1 Modo de configuração Profissional: S-Mode

Este modo é o mais aplicado em grandes instalações, pois tem que ser feito por um técnico especializado. Neste modo, a configuração é feita através do software ETS, que utiliza as bases de dados fornecidas pelos fabricantes. Deste modo, é possível obter elevados níveis de sofisticação e funcionalidades das mesmas.

#### 3.5.2 Modo de configuração fácil: E-Mode

Recorrendo ao modo E-Mode, a configuração e parametrização é feita através de um controlador central, tornando-a mais intuitiva e aplicável por instaladores com menos conhecimentos de KNX. Este modo é pensado para pequenos edifícios.

Sendo esta instalação mais simples, os recursos oferecidos são também mais limitados, pois são configurações pré-definidas e pré-programadas por forma a que seja fácil reconfigurar a instalação.

### **3.5.3 Modo de configuração fácil: A-Mode**

Este é o modo de configuração automático da KNX, em que os dispositivos são pensados para serem aplicados pelo consumidor final, não sendo necessários conhecimentos KNX. São componentes de fácil ligação e que se adaptam aos dispositivos em funcionamento.

## **3.6 Principais componentes**

### **3.6.1 Fontes de alimentação KNX**

A fonte de alimentação é o dispositivo cuja função é fornecer a tensão à rede KNX, tendo uma tensão de saída de 30V DC. Deverá sempre existir uma em cada linha, área ou segmento de linha. É importante referir que a fonte de alimentação também confere proteção contra sobrecargas e curto-circuitos.

### **3.6.2 Fontes de alimentação auxiliares**

Alguns dispositivos, como por exemplo, termostatos, estações meteorológicas, displays, entre outros, têm um maior consumo de energia, não podendo ser alimentados pela rede KNX. Assim, estes dispositivos necessitam de uma rede de tensão auxiliar, ligada diretamente aos dispositivos que dela necessitam. Criando desta forma uma rede de baixa tensão, geralmente de 24V ou 29V DC.

### **3.6.3 Acopladores de linha**

Em grandes instalações, ou quando é necessário diferenciar pisos ou zonas de um edifício, são utilizados os acopladores de linha. Estes têm a função de unir diferentes linhas. Podem ser utilizados para unir as várias áreas, para fazer extensões de linha ou também, no caso de uma fonte de alimentação não ser suficiente para essa linha, é possível criar uma nova linha utilizando um acoplador e uma nova fonte de alimentação.

### **3.6.4 Cabo BUS KNX**

Com referido anteriormente, este cabo serve para interligar os dispositivos KNX.TP. Ele é constituído por dois pares de fios entrançados com 0,8mm de diâmetro. O par Vermelho/Preto é utilizado para a rede KNX e o outro par de cores Branco/Amarelo fica de reserva ou é utilizado para fazer a alimentação dos dispositivos que necessitam de rede alimentação auxiliar.

O cabo BUS é ligado a terminais de ligação rápida sem parafusos (bornes de ligação) para fazer a ligação aos dispositivos. Estes bornes, servem também para derivações na rede, podendo ser ligados 4 pares de fios em cada um e são fornecidos com cada dispositivo.

### **3.6.5 Módulos de entrada**

Estes módulos são os dispositivos que recolhem a informação e a transmitem para a rede KNX, provocando ações nos atuadores que recebem as instruções e atuam conforme o pretendido. Estes podem ser sensores de temperatura, botões de pressão, detetores de luminosidade, detetores de presença, medidores de energia, estações meteorológicas, módulos de entrada analógicos, entre outros.

### **3.6.6 Módulos de saídas**

Estes dispositivos são os atuadores que recebem informações dos módulos de entrada e que atuam conforme os cenários e ações definidos. Os elementos mais usuais são os atuadores binários, os atuadores de iluminação variável, os atuadores de estores/persianas, os atuadores analógicos e atuadores para controlo de temperatura como electroválvulas.

### **3.6.7 Gateways**

Quando é necessário estabelecer comunicação com sistemas que não comunicam com o KNX é fundamental criar uma ponte de ligação entre esses sistemas. Estas Gateways têm com função controlar sistemas de alarmes, sistemas de AVAC, televisões, sistemas audiovisuais, entre outros.

### **3.6.8 HomeServer**

Estes dispositivos servem para fazer a integração de diferentes sistemas, assim como possibilitar a monitorização e comando de toda tecnologia KNX e outras, através de tablets, smartphones e de uma página web, permitindo assim o acesso remoto a toda a instalação.

### 3.7 Principais vantagens

O protocolo KNX permite a certificação de equipamentos de diferentes fabricantes, garantindo a interoperabilidade e compatibilidade entre eles. Devido à sua topologia e flexibilidade de configuração, edifícios projetados para exercerem atividade num determinado setor podem, mais tarde, ser ampliados ou mesmo reconvertidos para outras finalidades. Para tal basta reconfigurar ou reprogramar a instalação, sem necessidade de alterações físicas e maior investimento. Além disto, torna-se vantajoso em relação a reabilitações. (Soares, 2019)

A aplicação da domótica em edifícios residenciais ou comerciais permite aumentar a sua eficiência energética ao possibilitar o controlo dos múltiplos sistemas. É possível, por exemplo, programar o uso de eletrodomésticos, controlar a iluminação através de sensores de presença e de luminosidade que vão permitir uma melhor gestão da luz natural e das necessidades da utilização da luz artificial, regulação da temperatura dentro do edifício para reduzir o uso dos equipamentos de climatização, tendo em conta a meteorologia, a hora e a presença de pessoas, e o controlo inteligente do sistema de rega através de sensores de humidade no solo.

Além dos benefícios no que concerne à eficiência energética e de conforto, o KNX garante também a segurança dos sistemas de controlo. Não somente fiabilidade e controlo como também inviolabilidade do sistema de gestão dos edifícios via Internet.

Assim, o KNX desenvolveu o *KNX Secure*. Este assegura os mais elevados requisitos de segurança cibernética ao bloquear com sucesso ataques de *hackers* à infraestrutura digital do edifício, garantindo a proteção da rede e de dados. Esta proteção é desencadeada por dois mecanismos:

- *KNX IP Secure*: protege a comunicação IP entre instalações, através da transferência de dados encriptados;
- *KNX Data Secure*: protege os dados do utilizador, incluindo os dados trocados entre terminais, através da encriptação e autenticação.

Desta forma, o KNX recorre a um sistema de dupla proteção para maior segurança do edifício. (Soares, 2019)

## 4 GANHOS INDIRETOS – PAREDE DE TROMBE

A melhoria do desempenho térmico de edifícios, através da utilização de soluções construtivas mais eficientes e da integração de fontes de energia renováveis e materiais sustentáveis constitui uma importante ajuda para a redução do consumo energético, tanto em edifícios novos como já existentes.

A energia solar é uma das fontes de energia renováveis que pode ser utilizada com este propósito, especialmente em climas com alta intensidade de radiação solar, como é o caso de Portugal.

Assim, a Parede de Trombe, com funções de ventilação e aquecimento, apresenta-se como uma solução de construção simples e barata que permite atingir esse objetivo. Esta parede consiste essencialmente numa única parede maciça, de grande inércia térmica, uma caixa-de-ar e um envidraçado orientado a sul no lado de fora. A parede maciça deve ser feita com materiais com boa capacidade de armazenamento de calor e a sua superfície tem de ser escura, para aumentar a absorção da radiação solar. Esta parede tem a capacidade absorver a energia solar, armazená-la no seu interior e mais tarde libertar calor para o espaço interior que se pretende aquecer. É de salientar que na parede maciça podem ser introduzidas aberturas por forma a promover a circulação de ar. (Sá et al, 2014)

A convecção natural que ocorre na cavidade da Parede de Trombe está dependente de diversos fatores, nomeadamente, localização e orientação da parede, período de tempo no qual há incidência de radiação solar, altura do sol acima do horizonte e sombras resultantes de objetos ou da própria arquitetura do edifício. Como consequência, poderá existir uma distribuição não uniforme do fluxo de calor na parede ativa da cavidade. Desta forma, torna-se extremamente importante o dimensionamento térmico da Parede de Trombe. Por sua vez, a convecção natural que ocorre entre a parede de vidro e a parede maciça depende de vários fatores físicos. Destacam-se as características térmicas e óticas do vidro assim como a sua espessura, fatores de absorção da parede, emissividade das paredes internas, altura das paredes, distância entre as paredes ativas quentes e frias e as características dos materiais dispostos no interstício das mesmas. (Baïri et al, 2020)

É importante frisar que este é um método de aquecimento, e por isso, sendo mais adequado para a estação fria, na estação quente deverá ser desativado para evitar sobreaquecimentos. Esta desativação pode ser feita impedindo que a radiação atinja o envidraçado, recorrendo utilização de palas de sombreamento, estores ou persianas exteriores.

### **Envidraçado exterior**

É através do envidraçado exterior que a radiação solar incide. Posteriormente, o calor é conservado na caixa-de-ar, durante o dia. Este elemento construtivo tem também como função impedir que o calor acumulado pela parede maciça se difunda facilmente para o exterior.

Assim, é fundamental ter em consideração as características do envidraçado, a espessura e o tipo de vidro, a sua localização e orientação na envolvente do edifício e a geometria de insolação, uma vez que este elemento construtivo pode ser o maior responsável pela quantidade de ganhos e perdas de calor.

É muito importante ter em consideração o material e a permeabilidade da caixilharia do envidraçado pois estas características podem influenciar o desempenho da Parede de Trombe.

Em relação à orientação a sul do envidraçado, esta justifica-se como sendo essencial uma vez que corresponde à exposição solar que permite captar maior quantidade de radiação solar e favorece a baixa altitude durante o inverno sem que alcance ganhos excessivos durante o verão. (Ferreira, 2015)

### **Caixa-de-ar**

A caixa-de-ar posiciona-se entre o envidraçado e a parede acumuladora. É neste espaço que fica armazenado o calor proveniente da radiação solar incidente, criando-se um “efeito de estufa”. Este elemento deve ser delineado por forma a permitir aumentar a quantidade de calor que pode ser aí acumulado, aumentando os ganhos e reduzindo as perdas de calor.

Os fatores que mais influenciam o seu desempenho são a sua espessura e altura. A espessura tem influência na transmissão de calor para o interior do espaço que se pretende aquecer, tanto por condução através da parede maciça, como por convecção através das aberturas de ventilação. (Ferreira, 2015)

### **Parede Acumuladora**

A parede acumuladora consiste numa parede de armazenamento térmico. Na sua construção utilizam-se materiais com elevada densidade, grande capacidade de armazenamento de calor, condutibilidade térmica moderada e emissividade elevada. Estas características, permitem que o calor seja transferido e armazenado no interior desse mesmo material e que a quantidade de radiação absorvida seja muito superior à que é refletida.

---

A inércia térmica é a característica mais importante no desempenho da Parede de Trombe. Esta característica diz respeito à capacidade da parede em acumular calor e transmitir o mesmo, ao longo do dia, permitindo o controlo das flutuações da temperatura visando diminuir as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Este efeito é possível graças à elevada massa do elemento construtivo.

Assim, em dias quentes, quando a radiação solar incide na parede maciça, esta aquece e absorve o calor. Quando o ambiente que se pretende aquecer se encontra a uma temperatura mais baixa, a parede irradia o calor acumulado. Este efeito torna-se extremamente vantajoso no inverno, uma vez que a parede maciça acumula calor durante o dia e transmite-o lentamente durante a noite. (Ferreira, 2015)

### **Dispositivos de Sombreamento**

O sombreamento tem como objetivo a proteção solar e, por isso, funciona como uma estratégia de arrefecimento e aquecimento.

Os dispositivos de sombreamento são deveras importantes na instalação de uma Parede de Trombe uma vez que constituem uma medida de prevenção do sobreaquecimento nos meses de verão assim como da perda de calor para o exterior, durante a noite, nos meses mais frios.

Neste projeto consideramos, como já referido anteriormente, os estores de bandas horizontais como dispositivo de sombreamento. Esta escolha deve-se ao facto de ser um dispositivo comum e económico, sendo passível de ser controlado de forma manual ou automática. Além de funcionar como proteção dos raios solares, permite a circulação de ar através das pequenas aberturas entre as réguas. (Ferreira, 2015, Palhinha, 2009)

### **Sistemas de ventilação**

Podem existir diferentes designações para a Parede de Trombe, dependendo do sistema de ventilação instalado. Quando não está prevista a instalação de nenhum sistema de ventilação, designa-se por Parede de Trombe não ventilada. Pelo contrário, quando instalado o sistema de ventilação, passa a designar-se Parede de Trombe ventilada ou duplamente ventilada.

A Parede de Trombe ventilada consiste na instalação das aberturas da ventilação apenas na parede acumuladora, correspondendo a uma Parede de Trombe clássica. Este sistema de ventilação permite a introdução mais rápida de ar quente no compartimento uma vez que a massa de ar que se encontra na caixa-de-ar entra no compartimento através das aberturas superiores, por ser menos densa, e sai do compartimento pelas aberturas inferiores.



A Parede de Trombe duplamente ventilada é a designação atribuída quando o sistema de ventilação inclui aberturas na parede acumuladora e no envidraçado, simultaneamente. Esta construção é otimizada para estações de aquecimento e arrefecimento. (Sá et al, 2014)

É importante referir que na parede de Trombe não ventilada não ocorre circulação de ar e, por isso, a transmissão de calor para o interior do compartimento é feita por condução, radiação e convecção através da parede acumuladora. Por sua vez, na parede de Trombe ventilada, o aquecimento ou arrefecimento do espaço ocorre também por convecção de ar através das aberturas existentes na parede acumuladora.

Esta diferença na construção da Parede de Trombe vai condicionar o momento de aquecimento do compartimento. Na Parede de Trombe não ventilada, o calor acumulado na parede durante o dia é libertado de forma lenta e gradual durante a noite, levando a que o seu efeito de aquecimento seja sentido no período noturno. Por outro lado, na Parede de Trombe ventilada, a instalação de aberturas no cimo e na base da parede acumuladora vai permitir a circulação natural do ar, o que conduz ao aquecimento do compartimento durante o período diurno. (Ferreira, 2015)

### **Funcionamento de uma Parede de Trombe ventilada**

Numa Parede de Trombe, o aquecimento é feito por ação da radiação solar que atravessa o envidraçado exterior. Esta radiação solar é captada, em parte, pela parede acumuladora e outra parte é transferida para o ar contido na caixa-de-ar. O calor absorvido é depois transmitido para o interior do compartimento por condução e radiação, através da parede acumuladora, e por convecção, através das aberturas de ventilação.

É de extrema importância que as aberturas de ventilação possibilitem o controlo do fluxo de ar por forma a evitar situações de sobreaquecimento do espaço ou, por outro lado, permitam a perda de calor durante o período noturno. Assim, a Parede de Trombe ventilada e o seu correto funcionamento permite assegurar a melhor performance térmica durante o dia e a noite, tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento. (Ferreira, 2015)

### **Vantagens e Desvantagens da Parede de Trombe**

Como foi mencionado anteriormente, a Parede de Trombe é um sistema solar passivo que se apresenta como uma importante solução de construção sustentável, tendo em conta o cenário energético atual. No entanto, apresenta várias vantagens e desvantagens, sendo elas descritas abaixo. (Ferreira, 2015, Wu et al, 2014)

#### **Vantagens**

---

- Sistema de baixa necessidade de manutenção;
- Construção simples e relativamente fácil de incorporar na construção sendo constituída por materiais comuns, tais como pedra e betão. O uso destes materiais, disponíveis localmente, permite reduzir o impacto económico e ambiental desta construção reforçando, assim, o carácter sustentável desde sistema.
- Permite uma redução considerável no consumo de energias não renováveis e diminui a emissão de gases estufa;
- Aumento do conforto térmico uma vez que as oscilações de temperatura no interior do edifício são menores;
- Confere proteção contra os raios ultravioleta;
- Graças à circulação de ar, pode funcionar como sistema de aquecimento no inverno, mas também como sistema de arrefecimento no verão.

**Desvantagens:**

- Se não projetadas com criatividade, as Paredes de Trombe tornam-se facilmente objetos inestéticos podendo arruinar a construção;
- A presença de sombras resultantes da própria arquitetura do edifício ou de objetos presentes na sua proximidade pode conduzir a uma distribuição não uniforme do fluxo de calor na parede acumuladora;
- É possível a formação de condensações no envidraçado;
- Caso não sejam instalados dispositivos de sombreamento, as Paredes de Trombe podem provocar sobreaquecimento na estação quente;
- A parede acumuladora, além de limitar o espaço habitável, impede a iluminação natural e a vista para o exterior;
- Em comparação com Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, a Parede de Trombe não permite o controlo preciso da temperatura do espaço interior.

Em relação a Portugal, é importante referir que esta solução construtiva é fracamente utilizada. Tal deve-se ao facto de existir pouca informação acerca da performance térmica da Parede de Trombe e não é uma solução divulgada junto dos profissionais envolvidos na construção de edifícios. Além disto, a inexistência de informação acerca dos pormenores construtivos e dos seus custos também faz a diferença na aceitação desta solução sustentável. No entanto, esta dissertação acerca da aplicabilidade da domótica na Arquitetura Bioclimática pode conjugar as duas soluções e tornar mais atrativa a aplicação da Parede de Trombe como forma sustentável de reduzir o consumo energético de edifícios. (Sá et al, 2014)

## 5 ARREFECIMENTO POR VENTILAÇÃO NOTURNA

Tal como referido anteriormente, o arrefecimento por ventilação noturna consiste na circulação de ar fresco, durante a noite, no interior de um edifício. A entrada de ar exterior que se encontra a uma temperatura baixa permite a redução da temperatura do ar no interior do edifício assim como da temperatura dos elementos construtivos com capacidade de acumulação de calor. Este mecanismo de ventilação permite que, no dia seguinte, o edifício apresente condições de conforto térmico mais adequadas.

No entanto, torna-se importante referir que este mecanismo de arrefecimento é adequado para climas em que existe um grande diferencial entre as temperaturas diurna e noturna sendo que a temperatura diurna é elevada e não permite o uso de ventilação natural e a temperatura noturna não atinge valores demasiado baixos que conduzam ao desconforto térmico no interior do edifício.

A entrada e conseqüente circulação do ar fresco no edifício pode ser obtida através de sistemas de ventilação mecânica ou natural, sendo que no protótipo desenvolvido será aplicado o sistema de ventilação natural.

Para a correta aplicação deste mecanismo de arrefecimento, o sistema de ventilação noturna deve ser adequadamente dimensionado, tendo em conta todos os parâmetros que definem o desempenho energético do edifício.

No que concerne ao controlo um sistema de ventilação noturna, este pode ser automático ou manual, sendo que no protótipo desenvolvido será aplicada a domótica para o controlo automático do sistema.

Em relação às limitações da ventilação noturna, a sua capacidade de arrefecimento é condicionada pelas condições do ambiente exterior. A poluição, o ruído, o controlo do teor de humidade e a redução da velocidade do vento em contexto de zona urbana são também alguns dos problemas relacionados com a ventilação noturna.

Por isto, é importante ter em consideração as características específicas do ambiente urbano para o correto dimensionamento dos sistemas de ventilação. O aumento significativo da temperatura exterior devido ao efeito de ilha de calor assim como a diminuição da velocidade do vento são ambos característicos das zonas urbanas. Tais fatores são responsáveis pela diminuição considerável da eficiência dos sistemas de ventilação noturna.

Assim sendo, o arrefecimento por ventilação noturna terá diversos efeitos na temperatura interior do edifício, nomeadamente:

- Diminuir a temperatura máxima alcançada durante o dia;
- Reduzir a temperatura do ar interior, especialmente de manhã;
- Baixar a temperatura dos elementos construtivos com capacidade de armazenamento de calor.

Além disto, é importante referir que existem alguns fatores que limitam o desempenho da ventilação noturna, nomeadamente:

- Existência de tetos falsos ou outros elementos obstrutivos dos componentes construtivos de elevada massa, o que vai limitar a sua capacidade de armazenamento de calor e consequente troca de calor com o ar interior;
- Temperatura e fluxo de ar que circula no interior do edifício, durante a noite;
- Evolução da temperatura exterior ao longo dos períodos diurno e noturno.

(Verdelho, 2008)

## 6 PROTÓTIPO CONSTRUÍDO E SEU FUNCIONAMENTO

Na sequência do estudo feito nos capítulos anteriores, neste capítulo será apresentado o protótipo construído por forma a verificar a aplicabilidade da automação aos conceitos de Arquitetura Bioclimática assim como verificar o seu bom funcionamento.

A instalação conjugada de sistemas de aquecimento e arrefecimento exige que estes sejam idealizados e projetados de modo a satisfazerem de forma adequada as necessidades do edifício, nas diferentes alturas do ano, e que permitam a sua desativação quando os efeitos produzidos pelos sistemas referidos não são benéficos ao conforto térmico do mesmo.

Após a construção do protótipo e montagem de todo o material elétrico, foi necessário proceder à verificação dos cenários e ações propostas, de modo a confirmar a sua correta programação no *software* ETS. No entanto, as condições atmosféricas adversas no momento da sua conclusão não eram favoráveis ao seu funcionamento, pelo que foi necessário criar essas condições artificialmente. De modo a simular a falta de luz na Parede de Trombe, utilizou-se um material opaco para interromper os feixes de luz sobre a estação meteorológica, assim como, a utilização de um aquecedor para provocar subida da temperatura interior do protótipo e proceder à validação dos cenários propostos.

Finalizada a programação dos sistemas e verificadas as ações, foi impresso a partir do *software* uma listagem, que se encontra no anexo A-1, com os endereços de grupo criados e todas as associações feitas aos mesmos, para o correto funcionamento do protótipo.

### 6.1 Descrição do projeto

Para o desenvolvimento desta dissertação foram estudados diversos conceitos relacionados com Arquitetura Bioclimática e Domótica. A partir desse estudo é possível concluir que existem conceitos e técnicas construtivas aplicadas ao aquecimento e arrefecimento de edifícios.

Devido ao grande número de subtemas desta temática e ao facto de não ser possível automatizar todas as soluções, foram selecionadas apenas duas. Como critério de escolha optou-se por aplicar a automação a uma técnica de aquecimento e outra de arrefecimento.

Assim sendo, para a estação de aquecimento foi escolhido um sistema solar passivo de aproveitamento indireto, a Parede de Trombe. Esta solução construtiva apresenta inúmeras vantagens assim como algumas desvantagens. O que se pretende com a domótica é minimizar o impacto dessas desvantagens ao aumentar os ganhos quando existe necessidade de aquecer um espaço e reduzi-los quando são dispensáveis ou desativar o sistema na estação de arrefecimento através de um dispositivo de sombreamento.

Para a estação de arrefecimento foi utilizada uma técnica passiva, a ventilação noturna. Esta técnica é aplicada de forma manual desde sempre mas com a domótica é possível utilizar esta solução de forma mais adequada, estabelecendo temperaturas de conforto de modo a que esta ventilação apenas funcione quando a temperatura no exterior seja mais baixa que a interior e a temperatura interior seja mais alta que a temperatura de conforto.

A domótica neste protótipo tem uma grande importância já que é possível controlar os efeitos destes sistemas passivos, permitindo que sejam apenas acionados quando os mesmo trouxerem vantagens para o conforto do edifício, tornando-o assim um edifício inteligente.

Para a aplicação destes sistemas foi projetado e construído um protótipo em escala reduzida, onde foi instalada uma Parede de Trombe e grelhas para ventilação noturna. Este protótipo foi construído em betão armado com paredes de 11 centímetros de modo a ter uma grande inércia térmica. Este elemento construtivo é considerado importante uma vez que impede as variações drásticas e rápidas de temperatura no interior do protótipo construído e permite que este seja representativo do comportamento real de um edifício. Tratando-se de um volume de ar reduzido contido no protótipo construído, a elevada inércia térmica da construção impede a alteração instantânea do parâmetro a corrigir aquando do acionamento automático do sistema adequado às necessidades de conforto térmico, permitindo que o protótipo desencadeie as ações esperadas.

Para o revestimento do protótipo foi utilizado o sistema ETICS, sendo o material isolante em poliestireno expandido (EPS) com 40mm de espessura em todo o seu contorno, com o objetivo de reduzir as perdas térmicas do protótipo.

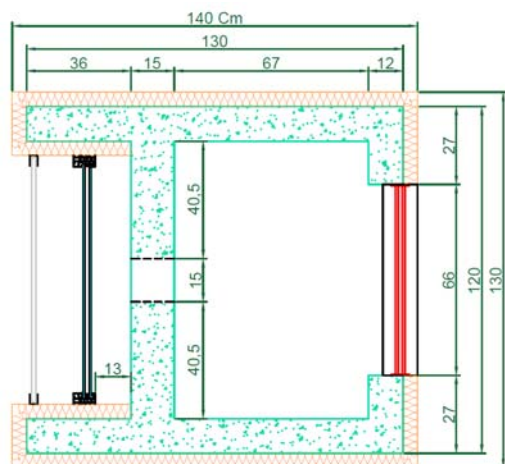


Figura 6.1 - Planta do protótipo construído

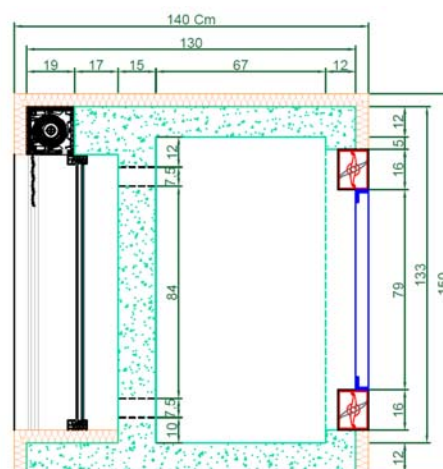


Figura 6.2 - Corte do protótipo construído

No que concerne à Parede de Trombe, a parede acumuladora é feita de betão armado com 15 cm de espessura de modo a ter grande inercia térmica para acumular energia e a libertar ao longo do tempo. Esta parede foi pintada de cor preta pois, tal como abordado anteriormente, as cores escuras absorvem mais a radiação solar. Nesta parede foram instaladas duas aberturas, uma inferior e outra superior, para permitir o aquecimento do espaço interior através do fenómeno de convecção. Foi utilizada uma janela com vidro duplo para possibilitar a entrada de radiação solar para aquecer a parede acumuladora e, ao mesmo tempo, reduzir as perdas por condução através da janela. Foi ainda colocado um estore elétrico com a função de sombreamento solar de forma a ativar ou desativar o sistema controlado pelo sistema KNX, conforme as necessidades de aquecimento.

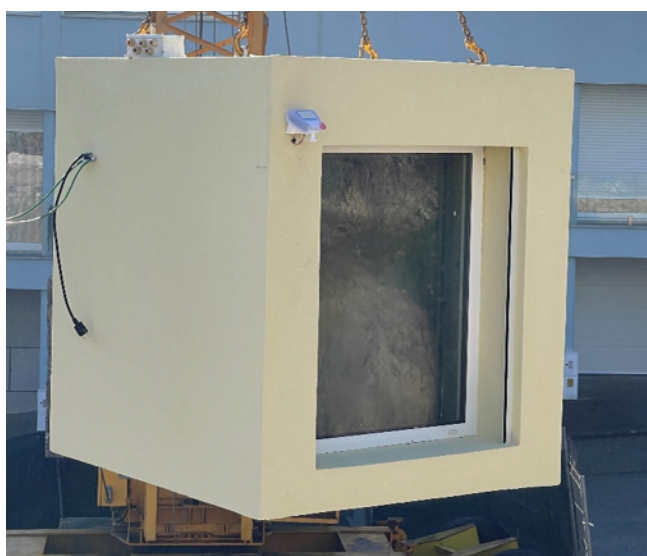


Figura 6.3 - Fotografia da parede de Trombe

Em relação à ventilação noturna optou-se por se utilizar dois registos de caudal TUNE-S-500x100-M0, um de entrada e outro de saída de ar, em que a sua abertura será controlada com um atuador KNX.



Figura 6.4 - Fotografia das grelhas de ventilação

As peças desenhadas do protótipo encontram-se nos anexos A-2 e A-3, para melhor análise das mesmas. Assim como, o esquema de montagem dos dispositivos elétricos se encontra no anexo A-4.

## 6.2 Parede de Trombe – Estação de aquecimento

A radiação solar incide na parede acumuladora, através do envidraçado exterior, levando à absorção de calor e conseqüente aquecimento da mesma. Quando o ambiente que se pretende aquecer se encontra a uma temperatura mais baixa, a parede irradia lentamente o calor acumulado. Além disto, posicionada entre o envidraçado e a parede acumuladora, existe uma caixa de ar que vai permitir a transmissão de calor para o espaço que se pretende aquecer por convecção, através das aberturas localizadas na parede acumuladora.

Em situações em que a temperatura interior é superior à recomendada para o conforto térmico, é necessária a utilização de medidas de proteção da radiação solar, nomeadamente, a utilização de estores como dispositivo de sombreamento.



### 6.2.1 Princípios de funcionamento

O sistema concebido neste protótipo visa a obtenção de uma temperatura do espaço interior de 20°C, embora na regulamentação atual a temperatura de conforto estabelecida pelo Despacho n.º 15793-K/2013 para a estação de aquecimento, seja 18°C.

Em Amarante, as temperaturas médias da estação de aquecimento situam-se entre os 14°C de máxima e 4°C de mínima, pelo que este sistema apresenta relevância para o atingimento da temperatura de conforto. WeatherSpark@(2021)

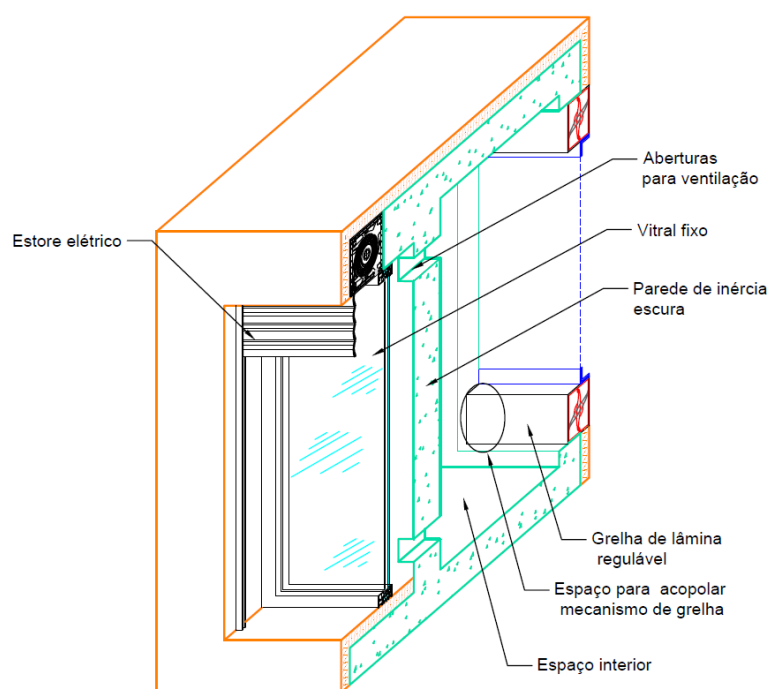


Figura 6.5 - Vista isométrica do protótipo construído

Aplicando a tecnologia KNX, é feita a automação do dispositivo de sombreamento, de modo a ordenar a sua abertura quando se torna necessário aumentar a temperatura do espaço interior e sempre que as condições do ambiente exterior o permitam.

Durante o período noturno não existem ganhos solares no sistema da Parede de Trombe, sendo que o estore deve estar fechado para minimizar as perdas térmicas do interior. No decorrer do dia e após leitura da temperatura do espaço interior, o estore será aberto para permitir a passagem da radiação solar e a acumulação de calor na parede, sempre que a temperatura esteja

abaixo dos 20°C, temperatura de conforto. No entanto, quando a temperatura se encontra acima dos 20°C, o estore mantém-se fechado.

Para evitar constantes inversões de estado, é possível atribuir um intervalo de temperaturas a partir do qual haverá a ordem de fecho ou abertura do estore.

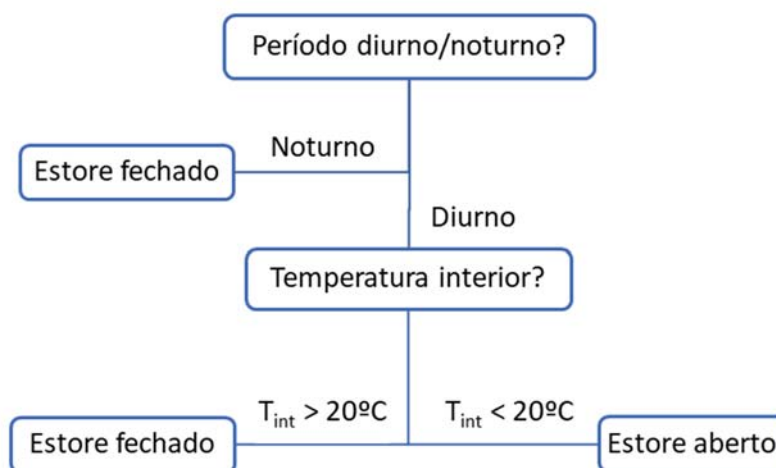


Figura 6.6 - Esquema de funcionamento da proteção solar

### 6.2.2 Dispositivos KNX utilizados

Para a aplicação do automatismo na Parede de Trombe foram utilizados os seguintes dispositivos:

- Interface KNX/USB, Hager TH101;
- Fonte de alimentação 160mA, Zennio ZPS160M;
- Fonte de alimentação auxiliar 24V, MW HDR-60-24;
- Estação meteorológica, Hager TG063A;
- Atuador bin 2 canais, Hager TYB602F;
- Controlador Ambiente KNX c/ display, Berker 80660100;
- Sonda de temperatura remota, Hager EK090;
- Computador com ETS5 instalado.

O controlador ambiente permite não só o controlo automático como também o manual do sistema, através do seu *display*. Este controlo pode ser feito também com botões de pressão, sendo associados os controlos pretendidos a estes botões.

### 6.2.3 Funcionamento do sistema KNX instalado

A instalação do sistema KNX inicia-se pela programação no *software* ETS5, introduzindo os dispositivos utilizados e atribuindo-lhes funções lógicas ou simples.

Com o ETS5, procede-se à atribuição dos endereços individuais a cada dispositivo. Este procedimento serve para identificar os dispositivos e impedir que dois dispositivos iguais recebam o mesmo telegrama. Depois de atribuídos os endereços é possível fazer o upload da informação do computador para os dispositivos através da Interface KNX/USB.

O Quadro 6.1 apresenta os dispositivos e os endereços atribuídos.

Quadro 6.1 - Endereços dos dispositivos da parede de Trombe

Endereço	Dispositivo	Referência
1.1.1	USB interface	Hager TH101
1.1.2	Station météorologique GPS	Hager TG053A
1.1.3	Controlador ambiente	Berker 80660100
1.1.7	2 saídas ON/OFF 6A 230V AC	Hager TYB602F

Para o funcionamento de uma rede KNX é sempre necessário pelo menos uma fonte de alimentação. Neste caso, a fonte de alimentação escolhida será suficiente uma vez que se trata de uma pequena instalação. Para dispositivos de maiores consumos, como é o caso da estação meteorológica e do controlador ambiente, é necessária uma fonte de alimentação auxiliar.

A estação meteorológica foi instalada na parte superior do protótipo, na face da Parede de Trombe. Esta estação permite a leitura de diversas variáveis climáticas, como por exemplo, a existência de pluviosidade, temperatura exterior, velocidade do vento, luminosidade, humidade relativa e estado diurno/noturno, assim como também permite obter a localização geográfica. A estação meteorológica permite uma programação semanal e anual além de programação de funções lógicas, para o desencadeamento de ações e cenários.

No protótipo desenvolvido, a estação meteorológica vai fornecer dados de temperatura exterior, o estado diurno/noturno e as funções lógicas programadas vão ser associadas a ordens de abertura ou fecho do mecanismo de sombreamento da Parede de Trombe. Além disto, a estação meteorológica escolhida permite a receção da informação obtida por outros dispositivos. Neste caso, recebe a informação do Controlador Ambiente e integra a mesma nas funções lógicas

programadas que resultarão em telegramas enviados para o atuador de estores, responsável pela abertura e fecho do mesmo.

O atuador binário de 2 canais é responsável pelas ordens de abertura e fecho do estore enviadas por outros dispositivos integrados na rede. A escolha de um atuador de 2 canais prende-se com o facto de o estore ser um mecanismo que necessita de um canal para o movimento da subida e a utilização de outro canal para o movimento de descida do estore.

O Controlador Ambiente e a sonda de temperatura remota estão instaladas no interior do protótipo. O Controlador Ambiente tem como função o envio da informação obtida pela sonda de temperatura para a estação meteorológica para que esta possa concretizar as funções lógicas pretendidas. Este dispositivo permite o controlo manual do estore, através do seu *display*.

### **6.3 Ventilação Noturna – Estação de arrefecimento**

O sistema de ventilação noturna instalado no protótipo desenvolvido tem por objetivo reduzir a temperatura do ar interior, durante a noite. Para isso, durante a estação de arrefecimento, o sistema KNX permitirá a abertura de registo de caudal, sempre que esta ação seja benéfica para o conforto térmico no interior.

#### **6.3.1 Princípios de funcionamento**

O sistema de ventilação instalado neste protótipo tem por objetivo o abaixamento da temperatura do espaço interior para 25°C, temperatura de conforto estabelecida pelo Despacho n.º 15793-I/2013 para a estação de arrefecimento.

Em Amarante, as temperaturas médias da estação de arrefecimento situam-se entre os 29°C de máxima e 16°C de mínima, sendo que em alguns dias do verão chegam a sentir-se picos acima dos 35°C. Devido a esta grande amplitude térmica, mesmo nesses dias mais quentes, é possível arrefecer os edifícios durante a noite, aproveitando o ar fresco exterior.

Recorrendo à tecnologia KNX é possível automatizar a abertura das grelhas, de forma a obter maiores proveitos do conceito de ventilação natural sem criar desconforto térmico nas noites mais frescas. Com o sistema KNX é possível fazer a leitura e conjugação automática das temperaturas interior e exterior para a obtenção de melhores resultados de arrefecimento passivo.

Em períodos de tempo em que a temperatura interior se encontra abaixo de 25°C, os registos de caudal mantêm-se fechados. Por outro lado, quando a temperatura interior ultrapassa os 25°C, são verificadas as condições de ambiente exterior, através da estação meteorológica. No caso da temperatura exterior ser superior ou igual a 25°C, os registos de caudal mantêm-se fechados. Quando a temperatura exterior é inferior a 25°C estes registos abrem e permitem a entrada de ar fresco no protótipo. Optou-se também por considerar, como condição de abertura, a não ocorrência de precipitação de modo a não aumentar o teor de humidade no interior do protótipo.

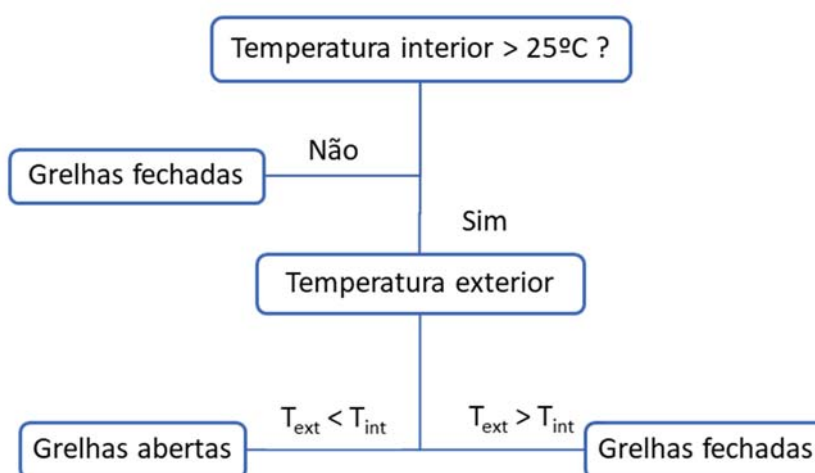


Figura 6.7 - Esquema de funcionamento da ventilação noturna

Apesar do sistema de ventilação instalado no protótipo visar o arrefecimento noturno, optou-se por não se restringir o seu uso apenas ao período da noite, uma vez que ao início da manhã, as temperaturas exteriores ainda se encontram abaixo dos 25°C.

### 6.3.2 Dispositivos KNX utilizados

Para a aplicação do automatismo na Parede de Trombe foram utilizados os seguintes dispositivos:

- Interface KNX/USB, Hager TH101;
- Fonte de alimentação 160mA, Zennio ZPS160M;
- Fonte de alimentação auxiliar, MW HDR-60-24;
- Estação meteorológica, Hager TG063A;
- 2 Atuadores rotativos KNX, Belimo LM24A-KNX;
- Controlador Ambiente KNX c/ display, Berker 80660100;
- Sonda de temperatura remota, Hager EK090;

- Computador com ETS5 instalado.

Tal como no sistema da Parede de Trombe, os registos de caudal podem também ser controlados de forma automática ou manual, por decisão do utilizador, através do *display* do Controlador Ambiente ou utilizando botões de pressão para esse efeito.

### 6.3.3 Funcionamento do sistema KNX instalado

Tal como no sistema da Parede de Trombe, a instalação do sistema KNX inicia-se pela atribuição de funções lógicas ou simples e endereços individuais a cada dispositivo.

A Quadro 6.2 apresenta os dispositivos e os endereços atribuídos.

Quadro 6.2 - Endereços dos dispositivos da ventilação noturna

Endereço	Dispositivo	Referência
1.1.1	USB interface	Hager TH101
1.1.2	Estação meteorológica GPS	Hager TG053A
1.1.3	Controlador ambiente	Berker 80660100
1.1.4	24A-KNX, Atuador	Belimo LM-24-A-KNX
1.1.5	24A-KNX, Atuador	Belimo LM-24-A-KNX

No que diz respeito aos atuadores rotativos, estes funcionam através de telegramas recebidos de outros dispositivos que desencadeiam a sua ação mediante as condições programadas pelo ETS5. As ações desencadeadas por estes atuadores conduzem à abertura ou fecho total dos registos de caudal, mediante as informações transmitidas na rede KNX.

Em relação aos restantes componentes, o seu funcionamento já foi esclarecido no capítulo relativo à Parede de Trombe.

É possível ainda, encontrar nos anexos A-5 e A-6 registos fotográficos de diversos momentos da construção e montagem dos sistemas apresentados.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 Conclusões

Na presente dissertação foi possível concluir que é viável a aplicação do sistema KNX aos conceitos de Arquitetura Bioclimática, potenciando assim as suas vantagens e aplicabilidade dos mesmos.

É possível concluir que em Portugal, devido ao seu clima e exposição solar, a utilização de conceitos de Arquitetura Bioclimática pode ter uma grande relevância. Mediante a escolha das soluções mais adequadas a cada situação, estas podem ser benéficas para o conforto no interior dos edifícios, diminuindo a dependência de fontes de energia externas. Por isto, os arquitetos e engenheiros devem adotar estes conceitos para uma construção sustentável e com uma maior eficiência energética a par da utilização da domótica para melhoria das suas características.

No caso da domótica em edifícios, é importante refletir sobre sistemas flexíveis e de fácil ampliação. Na presente dissertação concluiu-se que a KNX é uma excelente opção neste domínio, pois é um sistema aberto, com um grande peso a nível mundial na área da domótica, existindo centenas de fabricantes e milhares de integradores capazes de o aplicar em imensas áreas distintas. Devido à ausência de limites para a sua utilização e aplicação, o KNX constitui uma mais valia na aplicação de conceitos da Arquitetura Bioclimática.

É de salientar que, devido à presente situação pandémica e ao espaço de tempo para o desenvolvimento da presente dissertação, apenas foi possível explorar a integração da domótica em soluções de Arquitetura Bioclimática, pelo que não foram avaliados parâmetros térmicos ou benefícios com a sua implementação, sendo que alguns aspetos técnicos provêm de revisão bibliográfica.

## 7.2 Trabalhos futuros

Os conceitos de Arquitetura Bioclimática poderão ser aplicados a protótipos ou edifícios em escala real, com ou sem automação, de modo a verificar e quantificar os benefícios resultantes da aplicação da domótica nestas soluções, através da monitorização com a própria rede KNX.

Devido ao elevado número de soluções de Arquitetura Bioclimática, para esta dissertação apenas foram aplicados dois conceitos ao protótipo, pelo que, no futuro pode ser estudada a aplicação da domótica a outras soluções de modo a aumentar o seu interesse e aplicabilidade.

Poderá também ser feita uma análise com modelos matemáticos, apreciando as melhorias do conforto térmico com a utilização deste tipo de tecnologia.

Alem disto, as temáticas da Arquitetura Bioclimática podem ser desenvolvidas e adaptadas com vista à sua integração paisagista e arquitetónica com o intuito de as tornar mais apelativas aos arquitetos e aos seus potenciais utilizadores.

Por último, poderá ainda ser desenvolvida uma interface gráfica onde seja apresentado o estado de todos os dispositivos KNX e que permita o seu controlo. Esta visualização/controlo poderá ser feita através de um telemóvel, tablet ou via web (iPad/iPhone, Android ou Windows), utilizando HomeServers, nomeadamente, iRidium, Smart Visu Server, Gira Server, Thinka, entre outros. É nesta área que se poderá criar bastante atratividade suplementar para a utilização corrente destes sistemas, permitindo assim baixar os custos de mercado no desenvolvimento e implementação da automação em edifícios.



## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almusaed, A. (2011), *Biophilic and Bioclimatic Architecture*, Springer, Bucharest, 2011.

Bäiri, A., Martín-Garín, A., Adeyeye, K., She, K., Millán-García, J. A. (2020), “Enhancement of natural convection for improvement of Trombe wall performance. An experimental study”, *Energy & Buildings* 211 (2020) 1097 88, Elsevier.

Bestetti, M. L.T. (2014), “Ambiência: Espaço físico e comportamento”, Artigo Temático Rev. Bras. Geriatr. Gerontol., Rio de Janeiro, 2014.

Castro, Kevin P. (2012), “Domótica - Desenvolvimento de uma solução integradora”, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Cavaco, A., Silva, H., Canhoto, P., Neves, S., Neto, J., Pereira, M., (2016), “Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade, mensal e anual”, Instituto de Ciências da Terra.

Comissão Europeia@2020a, [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en), Acordo de Paris, data de consulta 26/4/2020.

Comissão Europeia@2020b, [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en), Estrutura climática e energética para 2030, data de consulta 26/4/2020.

Csustentavel@2020, <https://www.csustentavel.com/glossary/parede-de-trombe/>, Parede de Trombe, data de consulta 1/10/2020.

DGEG@2020, <http://www.dgeg.gov.pt/default.aspx?cn=774977507751AAAAAAAAAAAAAA>, Caraterização Energética Nacional 2017, data de consulta 26/4/2020.

ECHELON (2009), “Introduction to the LonWorks® Platform”, Echelon Corporation, United States of America.

Ecotelhado@2020, <https://ecotelhado.com/como-trabalhar-a-arquitetura-biofilica-em-projetos-dicas-praticas>, “Como trabalhar a arquitetura biofílica em projetos”, data da consulta 11/9/2020.

ElectronicaPT@2020, <https://www.electronica-pt.com/content/view/70/>, X10 - Casa Inteligente - Home Automation, data de consulta 9/5/2020

Energia Solar@(2020a), <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/energia-solar-passiva/arquitetura-bioclimatica>, Arquitetura Bioclimática, data de consulta 26/4/2020

Energia Solar@(2020b), <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/energia-solar-passiva>, Energia solar passiva, data de consulta 26/4/2020

Eurodomótica@(2020), <https://eurodomotica.pt/knx/> Sistema KNX – Eurodomótica

Fernandes, J., Mateus, R. e Bragança, L. (2016), “Arquitetura vernácula portuguesa: lições de sustentabilidade para a arquitetura contemporânea” 1<sup>st</sup> International Colloquium of Popular Architecture, Universidade do Minho.

Ferreira, A. I. (2015), “Desempenho térmico de paredes de Trombe em soluções estruturais leves com aço”, Dissertação de Mestrado Integrado de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, Coimbra.

Giesta, M. C. (2019), “Simulação de Técnicas Passivas de Arrefecimento com Recurso ao *EnergyPlus*”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto.

Gonçalves, H., Graça, J. M. (2004). “Conceitos Bioclimáticos para edifícios em Portugal”. Departamento de energias renováveis – INETI. Lisboa, Portugal.

Gouveia, P. F. (2009), “DOMUS A – Automação de ambientes residenciais”, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, D. de Eng. Mecânica da Universidade de Aveiro

Hager, (2020), “Conceitos KNX” Formação promovida pela Hager em 18/7/2020

Hisour@2020, <https://www.hisour.com/pt/passive-solar-building-system-40110/>, Sistema de construção solar passiva, data de consulta 26/4/2020

KNX@2020, [https://knx.pt/apresentacao\\_knx.html](https://knx.pt/apresentacao_knx.html), Apresentação da tecnologia KNX, data da consulta 21/10/2020

Lanham, A., Gama, P., Brás, R. (2004). “Arquitetura Bioclimática, Perspectivas de inovação e futuro” – Seminários de Inovação, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

---

Merz, H. et al. (2018), “Building Automation”, Springer, 2ª edição, Mannheim, 2018

Melo, T. (2012), “Domótica em edifícios correntes”, Projeto de Dissertação de Mestrado Integrado, DEC, Universidade de Coimbra, Coimbra

Moita, F. (2010), “Energia Solar Passiva”. Argumentum, 2ª edição, Lisboa, 2010.

Mourinho, J. M. (2014), “Projeto de Instalações Elétricas: Estudo comparativo entre uma solução tradicional com uma solução energeticamente eficiente”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, FEUP.

Nantes, E., Malys, L., Inard, C. (2017), “Assessment of direct and indirect impacts of vegetation on building comfort”, International Conference on Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale, SBE16, Elsevier.

Palhinha, M. S. J. (2009), “Sistemas de Sombreamento em arquitectura” Dissertação de Mestrado de Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Palma, D. (2012), “Domótica KNX/EIB de Baixo Custo”, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, FEUP, Porto.

Pereira, F. (2019), “Domótica – Edifícios Inteligentes”. Departamento de Engenharia civil da F.C.T.U.C., edição 2019/2020, Coimbra.

Pinho, A. R. (2015), “Automação de Soluções de Arquitetura Solar Passiva”, Dissertação de Mestrado Integrado de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da FCTUC.

Pordata@2018,

[https://www.pordata.pt/Europa/Consumo+de+energia+final+e+de+energia+el%C3%A9ctrica+pele+sector+dom%C3%A9stico+\(percentagem\)-1734-313719](https://www.pordata.pt/Europa/Consumo+de+energia+final+e+de+energia+el%C3%A9ctrica+pele+sector+dom%C3%A9stico+(percentagem)-1734-313719), Consumo de energia final e de energia elétrica pelo setor doméstico, data de consulta 26/4/2020

Ruela, J. (2012), “Sistema modular de comunicação e controlo de dispositivos sensores/actuadores”, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Automação, FEUP, Porto.

Sá, A. B., Martins, A. Cunha, J., Lanzinha, J., Paiva, A. (2014), “Energy performance of Trombe walls: Adaptation of ISO13790:2008(E) to the Portuguese reality”, *Energy and Buildings* 74(2014)11-119, Elsevier.

Sacht, H. M., Bragança, L., Almeida, M., Caran, R., (2013),” Passive Façade Solutions” 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France.

Santos, M. R. (2017), “Ventilação natural e comportamento térmico de edifícios”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Schneider@2020 <https://www.se.com/pt/pt/product-range-presentation/1424-sistema-knx/>, Sistema KNX, data de consulta 26/4/2020

Soares, M. (2019), “KNX e o controlo de iluminação”, artigo da revista “O Instalador”, Edição Nº275.

Sousa, Luís (2012), “Sistema modular de comunicação e controlo de dispositivos sensores/actuadores”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Automação, FEUP

Sousa, V. F. (2018), “Sistemas passivos na construção em Portugal”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FCTUNL, Lisboa.

Tavares, M. C. (2012), “Sistemas Solares Passivos na Arquitetura em Portugal” Tese de Doutoramento, Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa

Verdelho, S. (2008), “Avaliação do Potencial de Arrefecimento de Edifícios da Ventilação Natural”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Lisboa.

Voltimum@2020, <https://www.voltimum.pt/artigos/estrategias-bioclimaticas-e-sistemas>, Estratégias bioclimáticas e sistemas passivos, data de consulta 26/4/2020

WeatherSpark@2021, <https://pt.weatherspark.com/y/32490/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Amarante-Portugal-durante-o-ano>, data da consulta 4/1/2021.

Wu, S., Xu, L., Xiao, L. (2020), “Performance study of a novel multi-functional Trombe wall with air purification, photovoltaic, heating and ventilation”, *Energy Conversion and Management* 203 (2020) 11-2229, Elsevier.

## **Anexos**

**A-1 – Endereços de grupo e associações no *Software* ETS5**

**A-2 – Planta e corte do protótipo construído**

**A-3 – Vista isométrica do protótipo construído**

**A-4 – Esquema elétrico de montagem**

**A-5 – Fotografias do processo construtivo do protótipo**

**A-6 – Fotografias do processo construtivo do protótipo (Continuação)**

**A-7 – Fotografias de material elétrico e sua montagem**

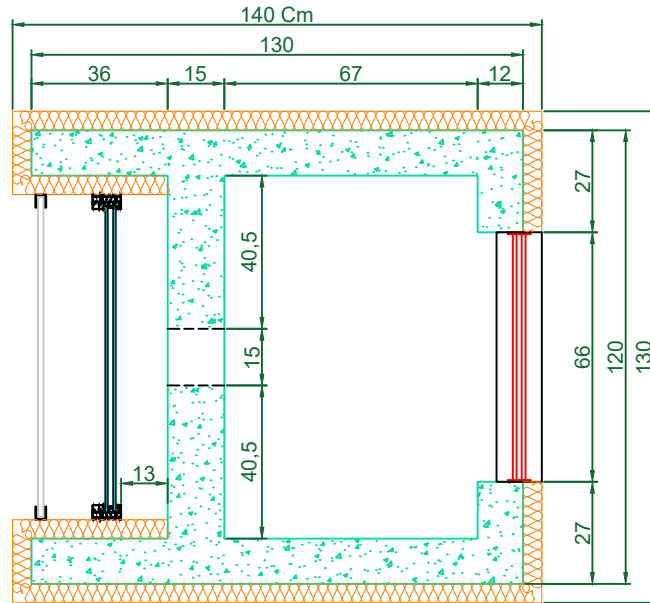
Projeto Tese - 0 Boleanas, 1 Temperaturas

Endereço	Nome	Central	Tipo de Dado	Comprimento	Nº de Associaç...
0/1	Estado noite	Não	switch	1 bit	3
0/2	Estado de aquecimento	Não	switch	1 bit	2
0/4	Temperatura exterior menor interior	Não	switch	1 bit	2
0/5	Abrir Estore	Não	switch	1 bit	2
0/6	Abrir grelhas	Não	counter pulses (0..255)	1 byte	3
0/7	Abrir estore (Botão)	Não	up/down	1 bit	9
0/8	Abrir grelhas (Botão)	Não	counter pulses (0..255)	1 byte	4
0/3	Estado de arrefecimento	Não	switch	1 bit	2
1/0	Temp. Interior	Não	temperature (°C)	2 bytes	2
1/1	Temp. Exterior	Não	temperature (°C)	2 bytes	1
1/2	Luminosidade	Não	lux (Lux)	2 bytes	1

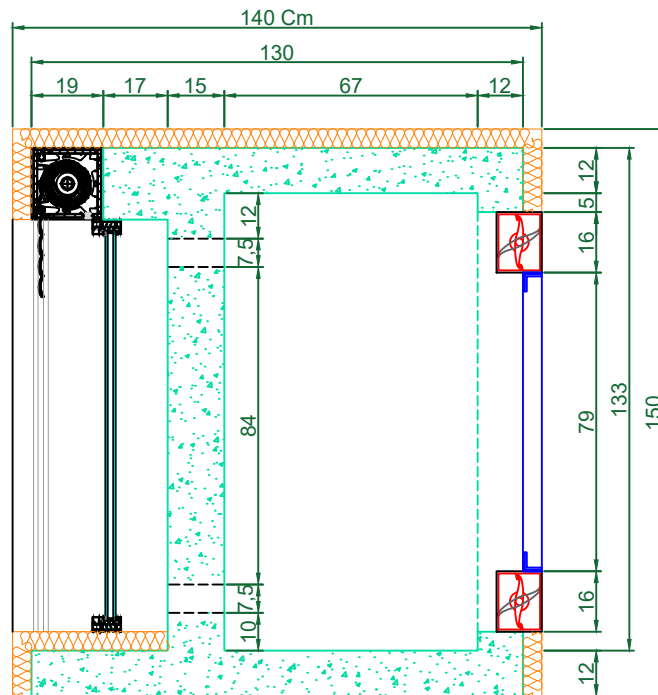
Projeto Tese - 0/1 Estado noite, 0/2 Estado de aquecimento, 0/3 Estado de arrefecimento, 0/4 Temperatura exterior menor interior, 0/5 Abrir Estore, 0/6...

Objeto	Dispositivo	Transmis...	Tipo de Dado	C L E T A Com...	Priori...	Endereço de Gr...
11: Nuit : Sortie - Sortie	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L - T -	1 bit	Baixo 0/1
96: Seuil crépusculaire 1 : contact de so...	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L - T -	1 bit	Baixo 0/1
237: Entrée logique N°1 - Entrée	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L E - -	1 bit	Baixo 0/1
29: Termóstato - Indicação estado aque...	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	state	C L - T -	1 bit	Baixo 0/2
238: Entrée logique N°2 - Entrée	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L E - -	1 bit	Baixo 0/2
30: Termóstato - Indicação estado arref...	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	state	C L - T -	1 bit	Baixo 0/3
240: Entrée logique N°4 - Entrée	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L E - -	1 bit	Baixo 0/3
24: Seuil de température 1 : Sortie - Sor...	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L - T -	1 bit	Baixo 0/4
239: Entrée logique N°3 - Entrée	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L E - -	1 bit	Baixo 0/4
0: Saídas 1-2 - Subir/Descer (pressão lo...	1.1.7 2 saídas ON/OFF 6A 230V A...	-	up/down	C L E - -	1 bit	Baixo 0/7, 0/5
173: Sortie logique ET N°1 : 1 bit - Sortie	1.1.2 Station météorologique GPS	S	switch	C L - T -	1 bit	Baixo 0/5
2: Override control -	1.1.4 ..24A-KNX, Actuator	-	1-byte	C - E - -	1 byte	Baixo 0/8, 0/6
2: Override control -	1.1.5 ..24A-KNX, Actuator	-	1-byte	C - E - -	1 byte	Baixo 0/8, 0/6
178: Sortie logique ET N°2 : 8 bit sortie...	1.1.2 Station météorologique GPS	S	counter pulses (0...	C L - T -	1 byte	Baixo 0/6
0: Saídas 1-2 - Subir/Descer (pressão lo...	1.1.7 2 saídas ON/OFF 6A 230V A...	S	up/down	C L E - -	1 bit	Baixo 0/7, 0/5
18: Botão de pressão 1 - Subir/descer	1.1.6 1-4 botões pressão estanqu...	S	up/down	C - - T -	1 bit	Baixo 0/7
19: Botão de pressão 1 - Inclinação/sto...	1.1.6 1-4 botões pressão estanqu...	S	step	C - - T -	1 bit	Baixo 0/7
38: Botão de pressão 2 - Subir/descer	1.1.6 1-4 botões pressão estanqu...	S	up/down	C - - T -	1 bit	Baixo 0/7
39: Botão de pressão 2 - Inclinação/sto...	1.1.6 1-4 botões pressão estanqu...	S	step	C - - T -	1 bit	Baixo 0/7
100: Botão de pressão 1 - Subir/descer	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	up/down	C L - T -	1 bit	Baixo 0/7
101: Botão de pressão 1 - Stop (press. c...	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	trigger	C L - T -	1 bit	Baixo 0/7
112: Botão de pressão 2 - Subir/descer	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	up/down	C L - T -	1 bit	Baixo 0/7
113: Botão de pressão 2 - Stop (press. c...	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	trigger	C L - T -	1 bit	Baixo 0/7
2: Override control -	1.1.4 ..24A-KNX, Actuator	S	1-byte	C - E - -	1 byte	Baixo 0/8, 0/6
2: Override control -	1.1.5 ..24A-KNX, Actuator	S	1-byte	C - E - -	1 byte	Baixo 0/8, 0/6
140: Botão de pressão 4 - Valor (0-255)	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	counter pulses (0...	C L - T -	1 byte	Baixo 0/8
152: Botão de pressão 5 - Valor (0-255)	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	counter pulses (0...	C L - T -	1 byte	Baixo 0/8
20: Seuil de température 1 : Valeur abs...	1.1.2 Station météorologique GPS	S	temperature (°C)	C L E T A	2 by...	Baixo 1/0
90: Temperatura - Sonda de temperatur...	1.1.3 Termóstato/controlador amb...	S	temperature (°C)	C L - T -	2 by...	Baixo 1/0
14: Mesure de température - Sortie	1.1.2 Station météorologique GPS	S	temperature (°C)	C L - T -	2 by...	Baixo 1/1
67: Mesure de luminosité - Sortie	1.1.2 Station météorologique GPS	S	lux (Lux)	C L - T -	2 by...	Baixo 1/2

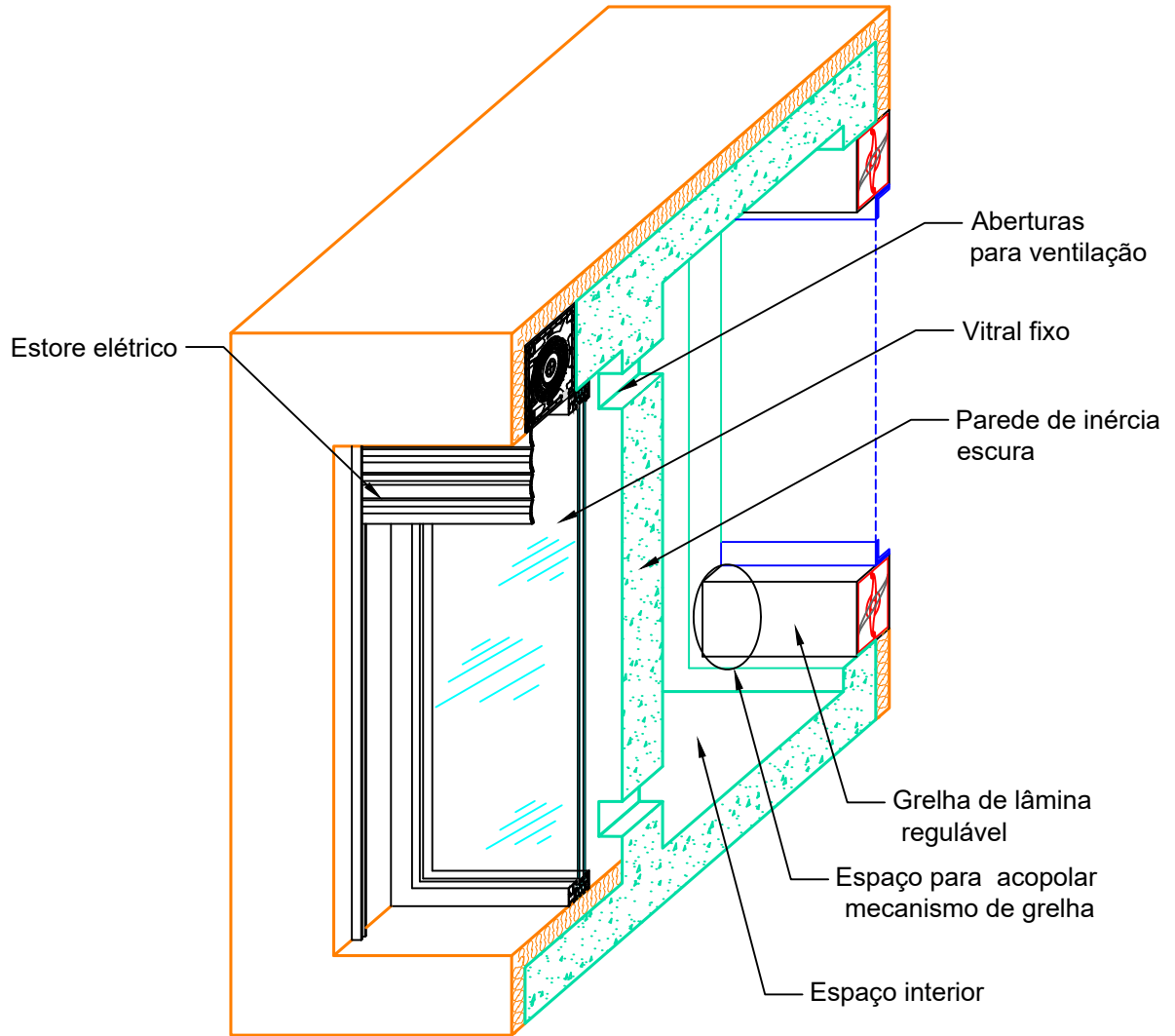
Planta



Corte



Vista isométrica





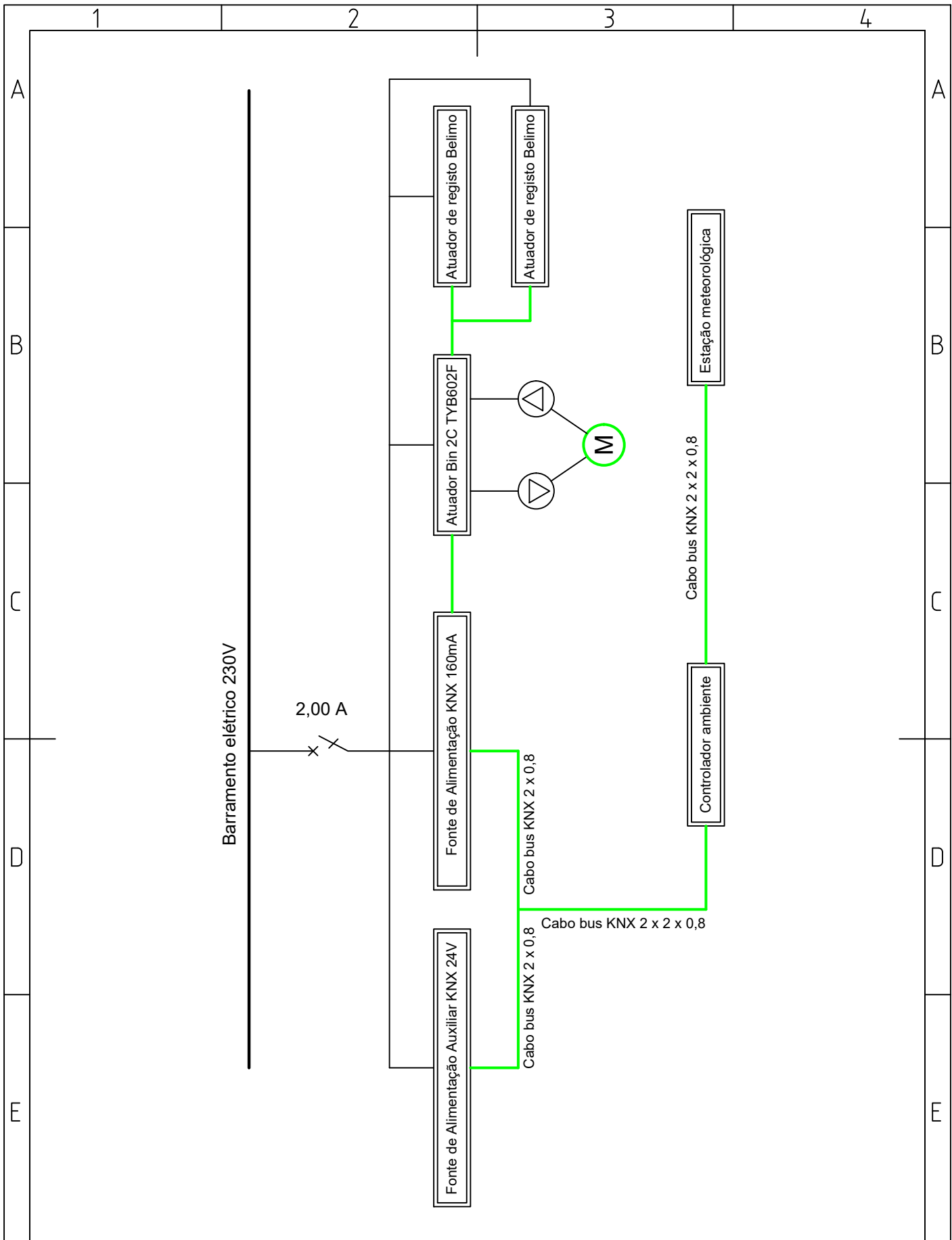




Figura A.1 – Execução de armaduras



Figura A.2 – Execução de cofragens e betonagem



Figura A.3 – Colocação de sistema ETICS



Figura A.4 – Colocação de vitral na parede de Trombe



Figura A.5 – Protótipo finalizado



Figura A.6 – Dispositivos KNX utilizados



Figura A.7 – Montagem provisória dos dispositivos



Figura A.8 – Montagem final dos dispositivos