U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITETURA

O Tempo na Arquitetura

Contributo para um manual de adaptação climática. Projeto de habitação bioclimática na cidade do Porto.

João Paulo Azevedo Magalhães

M

2020

U.PORTO

João Paulo Azevedo Magalhães. O Tempo na Arquitetura

M.FAUP **2020**

O Tempo na Arquitetura.
Contributo para um manual de adaptação climática.
Projeto de habitação bioclimática na cidade do Porto.
João Paulo Azevedo Magalhães

FACULDADE DE ARQUITETURA

O TEMPO NA ARQUITETURA

Contributo para um manual de adaptação climática

Projeto de habitação bioclimática na cidade do Porto

João Paulo Azevedo Magalhães

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura
Orientação: Prof. Dr.º Arq. Eliseu Manuel Vieira Gonçalves

Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto - 2020

Notas

A presente dissertação foi escrita segundo o novo acordo ortográfico.
Todas as citações em idioma estrangeiro encontram-se traduzidas pelo autor.

Na versão digital, a dissertação deve, se possível, ser lida em exebição de duas páginas com exceção da página de rosto.

Agradecimentos

Ao Professor Dr.º Arq. Eliseu Gonçalves, por aceitar este desafio, confiar em mim e orientar-me nesta longa e difícil maratona. Foi um prazer enorme trabalhar consigo.

A todos os professores com quem tive a honra de partilhar a sala de aula.

Aos meus pais, por todos os sacrifícios que tiveram que ultrapassar para manter este sonho vivo.

À Ana Rita, pela motivação, pelo apoio, pela dedicação, e principalmente pela paciência que tiveste durante todo este percurso. Sem o teu primeiro empurrão, nada disto seria possível.

À Susana Barros e ao Miguel Costeira, pela ajuda crucial na etapa final. Perderam o vosso tempo por mim, assim como eu o faria por vocês.

Aos meus amigos e colegas de curso, que partilharam comigo todos os momentos desta jornada académica, e não só. Espero levar-vos para a vida.

Ao Arq. Victor Alves, pela sabedoria em arquitetura de interesse social que me transmitiu, ao longo de um ano de trabalho que nunca esquecerei.

Ao Arq. Jorge Domingues, pela oportunidade profissional que me deu força para concluir esta etapa.

A todas estas e outras pessoas que de forma mais ou menos significativa contribuíram para que este momento chegasse, obrigado!

Abstract

We live in a time when the environmental debate is a widespread concern; where construction is a practice in question by the ecological footprint it practices; where health has gained a priority never seen before. However, at the same time, people in Portugal still die in the cold. This dissertation makes a reflection on the developments of bioclimatic architecture and experiences, through the passive use of solar energy as solutions to the problem of thermal comfort.

The main goal is to reinforce the bioclimatic discourse in architecture, in order to respond mainly to local needs. More than a discourse, the relationship between architecture and climate is an architectural stance that attenuates, both ecologically and economically, the energy needs of buildings.

This dissertation is essentially a contribution to a manual of climate adaptation addressed to the architect, the architecture student and the inhabitant. Written by one who is concerned with the comfort conditions of homes in which we live. It is intended in this study to develop an architectural approach on a topic that is so often understood as a specialty. More than a thermal project, this work wants to be an architectural project, with no tables to fill, nor values determined to achieve. Through a series of principles, we seek to explore architectural freedom in order to improve the thermal comfort of a dwelling. Ensuring a global and national context, this study offers the scientific knowledge useful to the design of the architectural project, based on authors who deal technically on the subject and with the built references that reveal the effectiveness of the system.

Resumo

Vivemos numa época em que o debate ambiental é uma preocupação generalizada; em que a construção é uma prática em questão pela pegada ecológica que pratica; em que a saúde ganhou uma prioridade nunca antes vista. Ainda assim, em Portugal, nesta mesma época, morrem muitas pessoas ao frio. Esta dissertação faz uma reflexão sobre os desenvolvimentos da arquitetura bioclimática e experimenta, através do aproveitamento passivo da energia solar, soluções à problemática do conforto térmico.

O objetivo passa por reforçar o discurso bioclimático na arquitetura, de forma a responder principalmente às necessidades locais. Mais que um discurso, a relação da arquitetura com o clima é uma postura arquitetónica que atenua, tanto a nível ecológico como a nível económico, as necessidades energéticas dos edifícios.

Pretende-se, com esta dissertação, oferecer um contributo a um manual de adaptação climática dirigido ao arquiteto, ao estudante de arquitetura e ao habitante. Escrito por um habitante preocupado com as condições de conforto dos lares em que vivemos, pretende-se neste estudo desenvolver uma abordagem arquitetónica sobre um tema que tantas vezes é entendido como uma especialidade. Mais que um projeto de térmica, este trabalho quer ser um projeto de arquitetura, sem tabelas a preencher, nem valores determinados a atingir. Através de uma série de princípios, procuramos explorar a liberdade arquitetónica no sentido de melhorar o conforto térmico de uma habitação. Assegurando um contexto global e nacional, este estudo oferece os conhecimentos científicos úteis à conceção do projeto de arquitetura, com base em autores que se debruçam tecnicamente sobre o tema e com as referências edificadas que revelam a eficácia do sistema.

Keywords:
Sustentabilidade. Arquitetura Bioclimática. Clima. Habitação. Porto.

SUMÁRIO

9 **INTRODUÇÃO**

1. SUSTENTABILIDADE EM ARQUITETURA: TEMAS E PROBLEMAS

20 1.1 SUSTENTABILIDADE

22 1.2 ATUALIDADE DO DEBATE AMBIENTAL
26 1.2.1 Eficiência energética
31 1.2.2 Pobreza energética

34 1.3 CONSCIÊNCIA CLIMÁTICA

2. ARQUITETURA E CLIMA: ALGUMAS FERRAMENTAS DE PROJETO

40 2.1 CONFORTO
42 2.1.1 Conforto térmico
46 2.1.2 Zona de conforto

50 2.2 ENERGIA
52 2.2.1 Radiação solar
60 2.2.2 Orientação

68 2.3 CLIMA
72 2.3.1 Classificação de climas
84 2.3.2 Definição climática
98 2.3.3 Microclima

CONTRIBUTO PARA UM MANUAL DE ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: PROJETO DE HABITAÇÃO BIOCLIMÁTICA NO PORTO 3.

CLIMA, LUGAR E ARQUTETURA 3.1 *112*

IMPLANTAÇÃO 3.2 *114*
Controlo microclimático 3.2.1 *118*

FORMA 3.3 *124*
Organização do espaço 3.3.1 *136*
Ventilação 3.3.2 *138*

SISTEMA DE CONTROLO SOLAR 3.4 *140*
Ganhos térmicos no inverno 3.4.1 *144*
Proteção solar no verão 3.4.2 *148*

EFICÁCIA DO SISTEMA 3.5 *152*

CONSIDERAÇÕES FINAIS *162*

APÊNDICE *169*

PSICROMETRIA A. *171*
DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI B. *179*
CARTA SOLAR C. *193*
SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO KÖPPEN-GEIGER D. *203*
DIVISÃO CLIMÁTICA, RCCTE E. *215*

BIBLIOGRAFIA *220*

ÍNDICE DE IMAGENS *224*

INTRODUÇÃO

Notas introdutórias
Objeto
Objetivo
Metodologia
Estrutura

Notas introdutórias

"O problema de controlar o seu ambiente e criar condições favoráveis aos seus objetivos e atividades é tão antigo como o próprio Homem."[1]

1. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. Prefácio.

O abrigo é uma ideia que expressa a vontade do ser humano, desde que se conhece, de responder às necessidades da sua existência face ao ambiente natural que o mesmo não consegue controlar..

O desenvolvimento desse mesmo abrigo é refletido, através da história, pelos avanços tecnológicos que se foram verificando ao longo das épocas, na tentativa de assegurar um pequeno ambiente controlado, sobre um ambiente natural mais extenso, caracterizado por elementos adversos como o calor, o frio, a chuva, o vento ou o sol.

Tais experiências chegam até ao dia de hoje como sínteses das considerações sobre esses mesmos elementos e que se apresentam ao nosso dispor para que as possamos identificar, contextualizar, estudar e aplicar com uma postura evolutiva.

Contudo, a arquitetura, com o desenvolvimento da humanidade, a facilidade de comunicação entre as populações do mundo e as reflexões sobre os mais variados temas, despistou os olhares menos atentos e conduziu os princípios mais elementares, presentes no abrigo, para um plano cada vez menos visível.

O tempo, na sua vertente social, é representado pelo desenvolvimento da sociedade e é uma questão abordada pelos arquitetos como matéria num projeto de habitação, que resulta em modelos de organização do espaço. O outro tempo, na sua vertente climática, é representado por estados naturais da atmosfera e é uma questão abordada pelos arquitetos como matéria num projeto de habitação, que resulta em tecnologia.

A habitação é a resposta à necessidade por parte da arquitetura e se encararmos esta necessidade como responsabilidade do arquiteto, a sua intervenção deverá ser hierarquizada. Ao relacionar essa responsabilidade com o tempo, é importante perceber a ordem de intervenção através da necessidade e da praticabilidade de ambas as questões. Assim, com algum estudo, verifica-se que o tempo social se revela como um tempo incontrolável, pela sua transformação a caminho de ser momentânea, enquanto que o tempo climático se revela mais fácil de dominar, pela sua maior estabilidade temporal.

Com estas análises presentes, e ao retomar a praticabilidade mencionada, não devemos esquecer que o primeiro objetivo do "abrigo" é proteger o habitante das condições climáticas adversas. Hoje, na ordem do dia está o problema do aquecimento global. Para a arquitetura, o combate a este problema reside no desenvolvimento sustentável e, por isso, é hora de voltar a destacar os princípios do abrigo, numa prática projetual com uma firme e profunda relação com o seu lugar de implantação, para que possa tomar o maior partido da natureza que a envolve e reduzir o impacto sobre o ambiente.

A mobilização deste estudo deve-se à pertinência do desenvolvimento sustentável e do melhoramento dos níveis de conforto térmico que se verificam necessários quando nos deparamos com problemas como os seguintes:

- O aquecimento global, que se apresenta pelo crescente debate contemporâneo sobre a proveniência e o uso excessivo de recursos naturais, escassos, para a manutenção da vida moderna.

- As estatísticas europeias que apontam Portugal como um caso grave na dificuldade para reverter o seu contributo na emissão de gases de estufa (4º lugar do ranking da UE), assim como um caso

alarmante pela percentagem de população (19,4%) que não consegue aquecer o lar por motivos de pobreza (ver gráficos 1 e 2).

- A pobreza energética numa sociedade que, à medida que se desenvolve, reforça a diferença entre classes caracterizadas pelo poder económico e que se verifica a dois níveis. A percentagem da população mais carenciada, face aos fatores económicos, é a que mais sofre com as alterações climáticas pois não tem como alcançar os recursos para se proteger das mesmas, nem consegue diminuir a sua própria pegada ambiental. Deste modo, é importante verificar que, neste momento, o desenvolvimento sustentável começa quando a pobreza acaba.

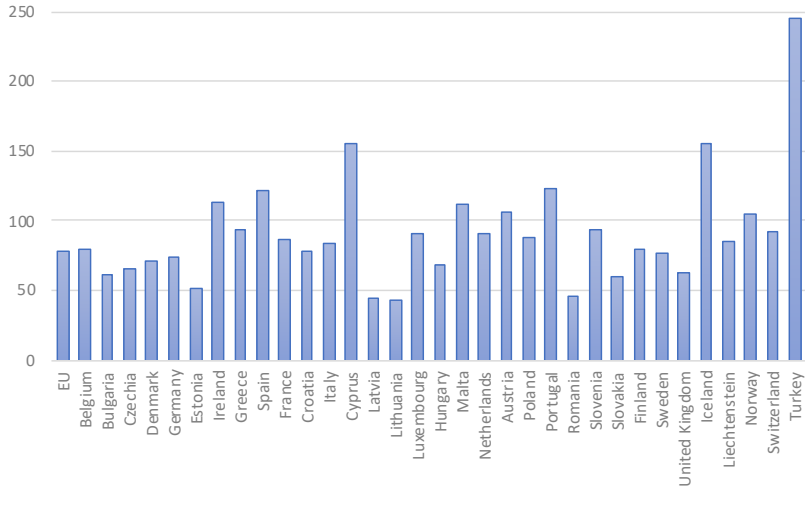


Imagem 1. EuroStat (2017). Greenhouse gas emissions (Source: EEA).

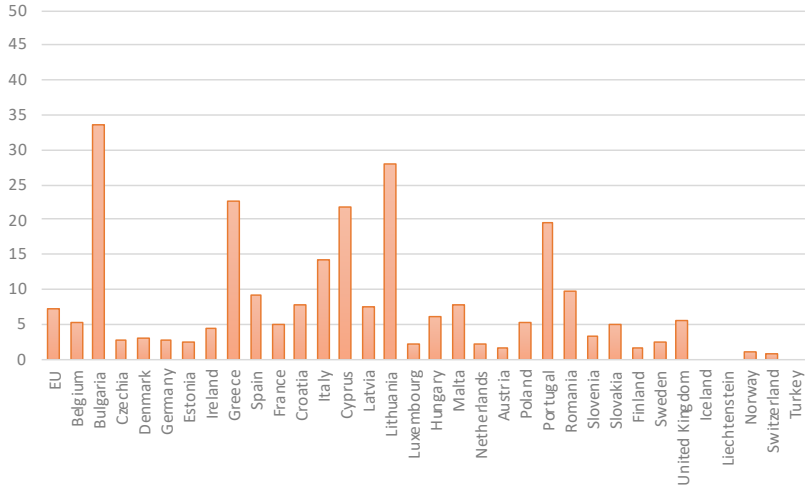


Imagem 2. EuroStat (2017). Populations unable to keep home adequately warm by poverty status.

Objeto

A relação entre arquitetura e clima será a matéria de abordagem às problemáticas referidas na introdução. Através do domínio dos princípios presentes na arquitetura com consciência climática, a dissertação será uma exploração teórica das possibilidades da energia solar passiva como estratégia de eficiência energética e desenvolvimento sustentável. O objeto de estudo consiste então no desenvolvimento de um projeto de arquitetura, escrito e desenhado, a cerca da consciência climática, munido de considerações científicas que fundamentam a adoção de uma postura bioclimática na procura incessante pelo conforto dos espaços que habitamos.

Os problemas que configuram a pertinência desta abordagem fundamentam-na a partir da necessidade e assim surge a condição da habitação social para famílias carenciadas promovida pelo Estado. Ao nível conceptual, mais do que qualquer outra família, a família carenciada que habita o bairro social terá tendência a apresentar condições de necessidade de conforto muito mais prioritárias que outro tipo de classe social. A escassez de meios financeiros é um fator que contribui para a pobreza energética e neste sentido o objeto de estudo terá uma incidência significativa por este tipo de habitação.

O campo de trabalho relaciona a habitação com o clima e divide-se por escala de abordagem, desde a caracterização do clima, passando por uma reflexão sobre as ferramentas úteis ao projeto, até culminar com um projeto bioclimático de habitação social, no Monte da Bela, na freguesia de Campanhã, como exemplo e com base em casos de estudo ao nível da eficiência energética e do conforto térmico.

Com tais condições em mente, a dissertação pretende explorar, desenvolver e experimentar, à escala do lugar de implantação, algumas orientações à prática projetual do tipo habitacional em função da eficiência energética e do conforto térmico.

Objetivo

Na relação entre arquitetura e clima, com foco no desenvolvimento sustentável e no conforto térmico, esta proposta procura identificar, definir e explorar uma estratégia que ajuda a definir de que forma a arquitetura se pode implantar com uma relação intima com o lugar, com preocupação por todas as condicionantes que a rodeiam.

O produto final desta dissertação pretende ser um contributo que oriente uma prática projetual na sua firme e profunda relação com o lugar. Tem como principal objetivo contribuir para o estudo da influência dos princípios climáticos no desenho da arquitetura, como passo integrante da longa caminhada do desenvolvimento sustentável.

Para que isso seja possível, verifica-se necessário desde o início aferir todas as temáticas necessárias ao completo domínio dos fatores que determinam a eficiência energética sem que os níveis de conforto sejam comprometidos.

Desde as variáveis incontroláveis, como a configuração climática ou os aspetos biológicos do habitante, às variáveis controláveis como as decisões construtivas do projeto de arquitetura, pretende-se neste estudo desenvolver uma postura arquitetónica que, através de princípios climáticos, assegurem um maior conforto térmico com uma redução significativa do seu custo, o que por sua vez contribui, com um peso ecológico significativo para um desenvolvimento sustentável mais favorável quando comparado ao atual.

Com a introdução de reflexões como esta, talvez seja possível atenuar as circunstâncias dignas de preocupação que tentamos apontar, de forma muito leve, enquanto desenvolvia a introdução.

Metodologia

Na tentativa de encontrar uma solução para o domínio do conforto térmico do espaço habitacional, foi necessário um estudo intensivo sobre as diferentes condicionantes que influenciam os mesmos. Num primeiro momento, revelou-se necessário esclarecer o tema como um conceito capaz de combater as preocupações evidenciadas desde o início: o desenvolvimento sustentável, a eficiência e a pobreza energética. Acabou por ser um vai e vem entre a afinação dessas preocupações com dados claros e irrefutáveis e a leitura dos principais autores de referência que apontam a consciência climática como modelo de resolução dos problemas enunciados.

Com esse estudo paralelo, foi possível estabelecer uma abordagem tanto ao nível da contextualização como da escolha do campo de trabalho, no intuito de desenvolver o maior número de questões possível. O desenvolvimento da habitação social foi uma forma interessante de abordar o problema, uma vez que abriga os habitantes mais carenciados a nível económico, que por falta de recursos económicos sofrem de pobreza energética e consequente falta de conforto térmico. Com um ponto de vista cada vez mais claro e consciente acabou por se revelar a necessidade pelo domínio científico das condições naturais que influenciam o individuo, o espaço e o ambiente, na tentativa de compreender tanto o cenário de preocupação como os elementos catalisadores identificados em cada uma das dimensões mencionadas.

Assegurada a abordagem científica, o estudo do discurso dos autores nucleares transformou-se numa análise mais afinada e acompanhada de referências edificadas que desenvolveriam a amostragem necessária para fundamentar o discurso. A partir desse momento passou a ser possível identificar e categorizar os elementos passiveis de intervenção, de forma a estruturar um discurso que aborda os princípios climáticos e os resolve com gestos arquitetónicos, como se de um manual se tratasse.

Estrutura

Para além da aproximação ao problema, inserido na introdução geral e afinada nas introduções de cada capítulo, a presente dissertação é composta por três partes distintas. Estas, desenvolvem-se sobre um discurso teórico que, face ao tema, muitas vezes é abordada com uma postura técnica, baseada na avaliação. Neste caso, a abordagem pretende ser arquitetónica e dispensa o preenchimento de tabelas de avaliação do sistema, pois não se trata de uma especialidade, muito pelo contrário.

O primeiro capítulo serve, essencialmente, para contextualizar e justificar a pertinência do tema escolhido, bem como desenvolver as problemáticas pertinentes ao estudo. Começamos por abordar a atualidade do debate ambiental, com o intuito de identificar os valores preocupantes da eficiência energética, através dos dados presentes no mais recente relatório do IPCC - International Panel on Climate Change. O objetivo passa por afinar tais números e compreender de que forma estes se refletem no caso nacional, em pobreza energética.

O segundo capítulo devolve o caráter abstrato ao tema e tenta, com o auxílio do conhecimento científico, desenvolver a definição de conforto térmico. Este segundo terço tenta, através da exploração do discurso dos autores nucleares, como Victor Olgyay, Rafael Serra, ou Steven Szokolay, identificar as ferramentas de projeto úteis ao arquiteto no desenho de uma arquitetura que se pretende relacionar com o clima.

O terceiro e último capítulo consiste no desenvolvimento de uma proposta de projeto, sobre o lugar de implantação referido anteriormente, onde tentamos pôr em prática os princípios fundamentais que fomos adquirindo ao longo do estudo. Com base na definição do clima local, e apoiado no modelo sugerido por Francisco Moita, desenvolvemos um projeto de habitação plurifamiliar com um sistema de aproveitamento da energia solar de forma passiva.

SUSTENTABILIDADE EM ARQUITETURA: TEMAS E PROBLEMAS 1.

SUSTENTABILIDADE 1.1

ATUALIDADE DO DEBATE AMBIENTAL 1.2
Eficiência energética 1.2.1
Pobreza energética 1.2.2

CONSCIÊNCIA CLIMÁTICA 1.3

1.1 SUSTENTABILIDADE

No sentido de analisar o estado atual do debate ambiental revela-se necessário esclarecer o conceito elementar da sustentabilidade, que no mundo contemporâneo se associa ao marketing ecológico tantas vezes ilustrado com imagens verdes relacionadas com a natureza.

A sustentabilidade[1] é, por definição, a qualidade ou condição do que é sustentável[2], o que por sua vez, significa que tem condições para se manter ou conservar.

Neste estudo, a referida conservação define o objetivo do sistema proposto, que de forma passiva, se mantém eficaz na manutenção de um espaço termicamente confortável ao habitante contemporâneo e futuro. Naturalmente, esta é também uma tentativa de reduzir a pegada ecológica do uso da habitação, que pela eficiência energética, caminha para um desenvolvimento sustentável que conserva o tempo[3] e que quer ser conservado pelo tempo[4]. Com a história, aprendemos que o desenvolvimento da sociedade foi essencialmente económico, onde o emprego e o lucro ditavam a sua eficácia, mas será que isso chega? Como podemos considerar o desenvolvimento como evolução se há problemas que resistem?

O ano de 2020 foi particular, como nenhum outro ano na história, pela crise de saúde pública relacionada com a pandemia provocada pelo novo coronavírus. Tal episódio devolveu a saúde ao centro das atenções e é nesse sentido que questiono a pertinência do lugar da saúde no modelo de desenvolvimento sustentável que surgirá daqui em diante.

Tal modelo, que até então se baseava na economia e na sociedade, com a introdução da saúde como um princípio também prioritário, terá naturalmente também uma maior consciência ambiental e ecológica.

1. *sustentabilidade*. Acedido em: 14, 04, 2020, em: https://dicionario.priberam.org/sustentabilidade

2. *sustentável*. Acedido em: 14, 04, 2020, em: https://dicionario.priberam.org/sustentavel

3. Estado da atmosfera.

4. Série ininterrupta de instantes.

Micheel Wassouf define a sustentabilidade aplicada à arquitetura como um conceito que se baseia nos três pilares referidos: a sustentabilidade ecológica, económica e social.

Afastados pela escala, a sustentabilidade ecológica, que "*não conhece fronteiras*"[5] , é a forma mais elementar de sustentabilidade, na medida em que o objetivo é proteger o meio ambiente para as gerações futuras, enquanto que a sustentabilidade económica e social, que dependem de contextos específicos de uma determinada sociedade, se referem a escalas mais localizadas.

5. WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág.9

O modelo de sustentabilidade para o qual este estudo pretende contribuir, impõe a necessidade de um mínimo esforço pelo bem-estar económico, de forma a salvaguardar os recursos individuais essenciais, assim como, ao nível social, de um modelo participativo de organização da sociedade que garanta a participação do individuo no desenvolvimento coletivo.

De forma a fazer um enquadramento deste estudo arquitetónico dentro do modelo de sustentabilidade atual, exploramos de seguida os três pilares referidos, no intuito de esclarecer a problemática que conduziu este estudo.

Em relação à sustentabilidade ecológica, pela sua escala global, faremos uma breve resenha histórica do desenvolvimento científico da descoberta do problema do aquecimento global, que por sua vez se apresenta como a maior ameaça que a humanidade enfrenta. Só com esse conhecimento assegurado será possível perceber a influencia da arquitetura sobre esse mesmo pilar. A arquitetura vive durante três momentos distintos: a construção, o uso e a demolição (ou reciclagem) e tem um papel fundamental num círculo vicioso que, com o estado atual do modelo nas suas vertentes de sustentabilidade económica e social, reflete uma enorme pegada ecológica que põe em causa o futuro do ser humano.

1.2 ATUALIDADE DO DEBATE AMBIENTAL

A atualidade da problemática ambiental fica principalmente caracterizada pela institucionalização das questões ambientais. O desenvolvimento de instituições que promovem ações em prol de um modelo de desenvolvimento sustentável e ecológico mais favorável às gerações futuras pode refletir um impacto significativo sobre a transformação da legislação referente a tais problemáticas, com a afinação do conhecimento tecnico e ciêntifico e a fundamentação dos problemas que o atual modelo pode causar. As normas ambientais podem assim, ser uma ferramenta muito útil á democratização dos princípios sustentáveis relativos à construção.

Naturalmente, com a crescente preocupação ambiental, a legislação relativa à construção impõe normas de sustentabilidade que impulsionam o desenvolvimento desta vertente. Contudo, o estudo dos princípios que materializam este conceito, podem desenvolver as normas de edificação nacionais, internacionais e os certificados ambientais. Para além da legislação, como o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE, que por sua vez foi uma ferramenta fundamental na adoção do isolamento térmico dos edifícios como prática imprescindível, podem também, estudos como este, alertar para outros fatores que influenciem a adoção de medidas pertinentes que, passo a passo, garantem uma sustentabilidade mais segura e consistente.

Em Portugal, a base técnica, construtiva e até arquitetónica da legislação vigente, reflete, em teoria, as necessidades mais urgentes da nossa sociedade. Contudo, como a estatística europeia revela, a necessidade de aquecimento do espaço doméstico é urgente e a legislação que deveria prever medidas de satisfação das necessidades da sociedade, aborda esta preocupação de forma algo elementar. Através da iniciativa europeia para reduzir as emissões de gases de efeito estufa até 2050, foi delineada uma série de normas de melhoria da eficiência energética dos edifícios. Portugal, sendo um estado membro da União Europeia, é obrigado a adotar

algumas das diretrizes apontadas pelo Parlamento Europeu na sua legislação nacional. Ainda assim, as referidas diretrizes apenas pretendem orientar novas construções, pelo que ainda não se desenvolveu algo com o mesmo valor para as edificações antecessoras, responsáveis pela maior parte das emissões de gases prejudiciais ao ambiente. A International Organization for Standardization, ou ISO, desenvolveu normas de quantificação dos índices de sustentabilidade nas construções, que podem ser entendidas como uma certificação ambiental. O objetivo é tentar categorizar os princípios de sustentabilidade e garantir uma resposta mais segura. Porém, é necessário compreender que as orientações que as normas ISO tentam implementar na área da construção são opcionais, mas demonstram todo o potencial de se afirmarem como obrigatórias dentro do panorama legislativo nacional. Contudo, devemos sempre ter em consideração uma certa flexibilidade entre tais normas, uma vez que estas, ao serem desenvolvidas dentro do seio da União Europeia, contemplam uma escala muito alargada, que abrange diversas configurações climáticas, muitas vezes com necessidades muito distintas.

Micheel Wassouf apresenta três organizações que, desde há duas décadas, a partir das normas ISO, tentam quantificar a certificação ambiental de um edifício através de uma série de ferramentas:
"*• World Green Building Council (WGBC), a associação mais conhecida, na qual prevalecem os critérios da filial norte-americana, a United States Green Building Council (USGBC).*
• Internacional Initiative for Sustainable Building Environment (IISBE), uma organização sem fins lucrativos relacionada principalmente ao âmbito académico. Promove a pesquisa e a formação no campo da sustentabilidade e desenvolve a ferramenta SBTool para aplicação em países emergentes.
• Sustainable Building Alliance (SBA), uma associação internacional criada com o objetivo de desenvolver um procedimento comum de avaliação a partir da definição de indicadores básicos."[6]

6. WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág.12

Além destas três associações, o autor refere ainda um novo perfil de associações de avaliação ambiental, desvinculadas de grandes empresas, como é o caso do International Living Building Institute ou o 2030 Challenge[7]. Este tipo de associações e movimentos disponibilizam ferramentas que se podem tornar muito úteis à investigação necessária ao desenvolvimento das diretrizes que pretendem compor as normas legislativas obrigatórias. Os princípios defendidos em estudos como este podem assim ser postos à prova e, se conforme, validados.

7. WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos.* 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág.13

Prova de como a utilização destas ferramentas pode ter resultados muito satisfatórios são as normas independentes, que se baseiam nas normas ISO para criar certificações ambientais. A mais conhecida é a norma LEED – Leadership in Energy and Environmental Design, desenvolvida pela USGBC. Embora esta marca se tenha fundado e tenha uma presença evidente nos Estados Unidos da América, pretende internacionalizar-se. A norma BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method, é o equivalente britânico à norma LEED, e reflete uma maior difusão na Europa. Ambas oferecem uma avaliação sustentável desde o planeamento urbano ao edifício, seja ele novo, em uso, ou a ser reabilitado[8].

8. idem.

Em relação ao edifício, segundo Wassouf, as certificações ambientais como as referidas anteriormente, avaliam o impacto ambiental ao longo de seis etapas do ciclo de vida do mesmo:

"• *Planeamento urbanístico: quantificam-se os impactos ambientais praticados pelas decisões urbanísticas (por exemplo, as infraestruturas);*

• *Produto: quantificam-se os impactos ambientais praticados no processo de produção dos materiais de construção;*

• Transporte de materiais: quantificam-se os impactos ambientais praticados pelo transporte de materiais de construção até ao estaleiro;

• Construção: quantificam-se os impactos ambientais praticados durante a construção;

• Uso do edifício: quantificam-se os impactos ambientais praticados durante o uso do edifício. A parte mais importantes desta etapa é o consumo energético do edifício e a energia necessária para a sua manutenção;

• Fim do ciclo de uso: quantificam-se os impactos ambientais praticados com a demolição e reutilização do edifício (ou de partes do mesmo).''[9]

9. idem.

Para além destas certificações ambientais, a Sustainable Building Alliance – SB-Alliance, que tem como objetivo desenvolver práticas comuns que possam ser usadas para monitorizar e comparar o comportamento ecológico e o desempenho sustentável dos edifícios através dos diferentes esquemas de classificação, delineou 116 critérios de avaliação dos princípios de sustentabilidade presentes numa construção. A seleção de tais critérios consegue respeitar, tanto as necessidades climáticas como as necessidades socioculturais de cada região[10].

10. ibidem, pág. 14

Contudo, há que ter em consideração que as certificações ambientais mencionadas oferecem as ferramentas necessárias para quantificar os princípios de sustentabilidade presentes no edifício, mas não propõem processos nem indicam soluções para os assegurar. Isto significa que um edifício que não responda de forma passiva ao clima pode ainda assegurar uma boa classificação ambiental, através de processos e dispositivos ativos.

Em paralelo com as certificações ambientais, que tentam avaliar e controlar o impacto ambiental dos edifícios, as normas de edificação sustentável como o conceito Passivhaus ou o conceito Minergie-ECO, determinam os critérios úteis aos arquitetos para atingir os níveis de eficiência energética adequados.

Grande percentagem das normas de edificação sustentável desenvolve princípios de eficiência energética ao nível do uso do edifício, o que se acaba por refletir na economia dos recursos financeiros do habitante, enquanto reduz a pegada ambiental do mesmo através do edifício que habita.

1.2.1 Eficiência energética

Desde a crise petrolífera de 1973, a preocupação com os aspetos ambientais dos edifícios tem vindo a aumentar. Segundo Micheel Wassouf, a crescente preocupação com as questões ambientais afirmou-se em definitivo com o quarto relatório do Intergovernamental Panel on Climate Change, ou IPCC[11]. Neste, estima-se, com acrescida probabilidade em relação aos anteriores, que a principal causa do aumento da temperatura média global reside nas emissões de dióxido de carbono resultantes da atividade humana.

"*Entre 1996 e 2005, registaram-se onze dos doze anos mais quentes desde que existem os registos meteorológicos (1850)*"[12]

Segundo os especialistas do IPCC, a temperatura média global poderá aumentar até 6,4ºC em 2100[13]. Segundo Wassouf, os mesmos especialistas alertam para a necessidade de controlar as emissões de CO_2 e estabelecem uma meta de um aumento máximo de 2,4ºC até 2050. Para que tal seja possível, "esse *aumento só pode ser garantido com uma redução de 50 a 80% dos gases de efeito estufa, em relação às emissões de 2007.*"[14]

11. WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos.* 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág. 8

12. idem.

13. IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014.* Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

14. WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos.* 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág. 8

No cenário atual das alterações climáticas, o setor da edificação destaca-se como o maior produtor de emissões de CO_2. A energia utilizada na construção, manutenção e no uso dos edifícios representam cerca de 40% do consumo energético na União Europeia e cerca de um terço das emissões globais de CO_2.[15]

Atualmente, o consumo energético decorrente do uso dos edifícios residenciais é o que mais contribui para as emissões de dióxido de carbono decorrentes deste setor.

Curiosamente, em países com clima ameno, a energia consumida com climatização, alimentação, iluminação e aquecimento de água, são os maiores contribuintes das emissões de CO_2 durante o ciclo de vida das edificações, que até, segundo Wassouf, ultrapassam o consumo necessário para a construção dos mesmos edifícios ou até da produção dos materiais que o constituem.[16]

Conclui-se, portanto, um enorme potencial do uso da arquitetura bioclimática no que toca à economia energética.

Segundo o quinto relatório, de 2014 (o último completo), dos especialistas do *Intergovernamental Panel on Climate Change*, a emissão de gases de efeito estufa (ou GEE) no setor da construção cresceu cerca de 28% desde 1970 até 2010[17].

As emissões dos edifícios e o rendimento económico per capita estão intimamente relacionados. Se considerarmos o ciclo de vida do edifício, desde a produção dos materiais até à sua demolição, mais de 80% das emissões de gases de efeito estufa acontecem durante o período de utilização do mesmo. Isto acontece principalmente pela utilização de eletricidade para aquecimento, arrefecimento, ventilação, alimentação e iluminação[18].

15. IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

16. WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág. 8

17. IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

18. idem.

Nos países mais desenvolvidos, a maior parte do consumo energético nos edifícios de habitação serve propósitos de aquecimento do espaço doméstico, principalmente em climas frios.

A procura de energia para tal efeito reflete valores de 58% em 1990, e de 53% em 2005, enquanto que o consumo de energia para aquecimento da água revela valores de 17% e 16%, respetivamente nos mesmo anos. Nos países menos desenvolvidos, é mais frequente o recurso a combustíveis tradicionais mais poluentes[19].

19. IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

No mesmo relatório esclarece-se que a emissão de gases de efeito estufa por parte do setor da construção duplicaram desde 1970, e representam cerca de 19% das emissões globais de gases de efeito estufa, em 2010[20].

20. idem.

A maioria destas emissões de gases de efeito de estufa são emissões indiretas de CO_2 resultantes do uso de eletricidade no edifício. Segundo a International Energy Agency – IEA, em 2010, o setor da construção foi ainda responsável por 32% (24% residencial e 8% comercial) do total consumo energético global, o que faz deste setor um dos maiores ao nível do consumo final de energia mundialmente.

O setor da construção, segundo o último relatório do IPCC, representa uma das maiores parcelas de emissões indiretas de gases de efeito estufa por setor económico, com 12%, e no caso das emissões diretas de gases de estufa com 6,4%[21].

21. idem.

Contudo, os valores referidos são atenuados pela presença dos valores das emissões de gases de efeito estufa provenientes do AFOLU – *Agriculture, Forestry and Other Land Use*, e pela separação dos valores da eletricidade e de produção de calor em emissões indiretas.

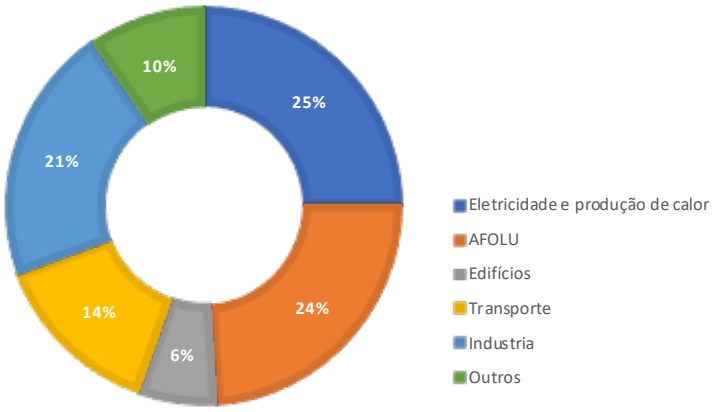


Imagem 3. IEA (2013). Emissão de GEE por setor económico, em 2010.

O aquecimento do espaço doméstico representa 32% do consumo energético final ao nível global, tanto no subsetor residencial como no comercial[22]. Contudo, a principal diferença entre os dois subsetores reside na necessidade de iluminação dos espaços comerciais, enquanto que a alimentação e o aquecimento de água são fatores determinantes para o consumo energético do subsetor residencial.

22. idem.

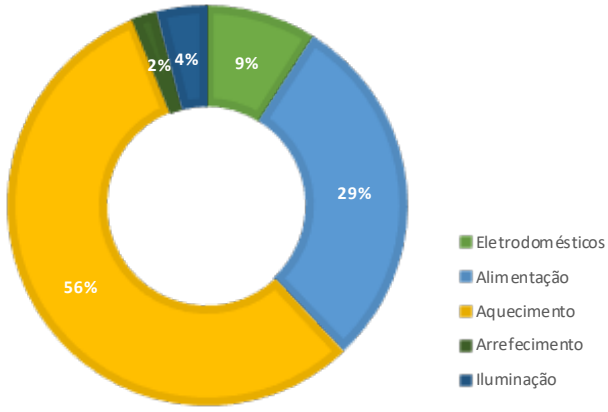


Imagem 4. IEA (2013). Consumo energético final em edifícios residenciais à escala mundial, em 2010.

O relatório refere ainda que o consumo energético dos edifícios tem tendência a duplicar ou até triplicar até 2050 segundo a tendência atual. Cerca de 800 milhões de pessoas não têm acesso a habitação adequada, cerca de 1300 milhões de pessoas não têm acesso a eletricidade e cerca de 3000 milhões, a nível mundial, dependem de combustíveis tradicionais altamente poluentes ao ambiente e à saúde, para alimentação ou aquecimento[23].

23. idem.

Com a redução destes números no futuro, o consumo energético terá necessariamente tendência a aumentar e tal cenário terá um reflexo significativo nos valores que retratam o impacto ambiental do setor da construção, com particular incidência no subsetor residencial. Para além disso, a evolução da tecnologia doméstica, aliada aos crescentes níveis de estilo de vida, resultará num aumento atípico dos mesmos valores. Neste sentido, o crescimento económico, acompanhado pela urbanização e pela evolução da habitação, proporcionará a atividade do setor da construção nos países em desenvolvimento. Consequentemente, a futura construção desse mesmo cenário pode ser um risco significativo aos valores mencionados anteriormente, ou uma oportunidade.

Em relação ao consumo energético para controlo térmico das habitações, o relatório aborda principalmente a diferença entre as regiões onde se localizam países desenvolvidos e o contraste no consumo energético dos mesmos em relação aos menos desenvolvidos. A tendência aponta para um aumento pouco significativo nos países desenvolvidos, e um enorme potencial de crescimento dos valores do consumo energético para os países em desenvolvimento. A diferença entre os subsetores do setor da construção é mais uma vez necessário, na medida em que as necessidades são conceptualmente diferentes.

O consumo energético para aquecimento ou arrefecimento, em edifícios residenciais e comerciais, mesmo sem os catalisadores apontados anteriormente como a evolução das tecnologias que os apoiam, apresentam a tendência para crescer cerca de 79% e 84% respetivamente[24]. Nos edifícios residenciais, tanto a tendência crescente do número habitações como a tendência crescente da área por habitação, são fatores que, em conjunto, desenvolvem a tendência crescente do consumo energético, enquanto que a tendência decrescente do número de habitantes por habitação tende a decrescer os valores do consumo energético.

24. IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

1.2.2 Pobreza energética

Um dos maiores problemas sociais que decorre dos temas explorados anteriormente (as alterações climáticas e a eficiência energética) é a pobreza energética. Segundo um estudo produzido pelo ISEG para a EDP, na Europa, há um grande número de famílias, cerca de 50 milhões segundo a UE, que não consegue alcançar um nível de serviços energéticos adequado para a habitação.[25]

25. ISEG (2016). *Estudo sobre a pobreza energética em Portugal.* Acedido em: 5, 08, 2020, em: https://www.edp.com/pt-pt/partilha-do-conhecimento/estudo-pobreza-energetica

O mesmo estudo, refere que "*a maioria dos autores e dos textos oficiais define 'pobreza energética como uma situação em que as famílias não têm capacidade para aquecer ou arrefecer as suas casas adequadamente, ou de satisfazer outros serviços energéticos a um custo aceitável.*"[26]

26. idem.

A comissão europeia mobilizou uma ferramenta política conhecida como Observatório para a Pobreza Energética, com vista a melhorar as condições das habitações dos cidadãos europeus. Esta passou a fazer parte das prioridades políticas do parlamento europeu, que passa a disponibilizar a informação necessária para a mobilização de ações dos governos dos países membros, com o objetivo de combater tal problema.[27]

27. idem.

Para alem dessa ação, o parlamento europeu promove estudos sobre esta problemática, com encontros de discussão, na tentativa de compreender a gravidade do problema e medidas de combate ao mesmo.

O estudo do ISEG aponta dois princípios fundamentais pelos quais a pobreza energética tem vindo a revelar um interesse crescente nas prioridades da comunidade europeia:

" • *... a necessidade de avaliar as consequências da liberalização dos mercados energéticos sobre os consumidores mais vulneráveis...*

• *... o reconhecimento da importância das condições de privação material da população enquanto elementos constituintes das situações de pobreza e de exclusão social.*"[28]

28. idem.

A um nível mais alargado, percebe-se que o interesse internacional possa refletir uma preocupação económica, na medida em que a pobreza energética pode também ter consequências macroeconómicas ao nível da eficácia das políticas energéticas que se possam tentar desenvolver. Por exemplo, a tentativa de desenvolver políticas energéticas com preocupações ambientais pode ser bastante condicionada pela pobreza energética.

Ao nível do indivíduo, pelas condições referidas até aqui, facilmente se conclui que a pobreza energética tem consequências graves na saúde de tais elementos da sociedade, assim como nas suas condições de vida e de conforto.

Segundo os investigadores do estudo realizado pelo ISEG para a EDP, para além das condicionantes financeiras conduzirem à pobreza energética, "*existem outros fatores que contribuem igualmente para a sua génese e persistência, nomeadamente as características do parque habitacional.*"[29]

29. ISEG (2016). *Estudo sobre a pobreza energética em Portugal.* Acedido em: 5, 08, 2020, em: https://www.edp.com/pt-pt/partilha-do-conhecimento/estudo-pobreza-energetica

A avaliação e a quantificação da pobreza energética no seio da comunidade europeia têm sido desenvolvidas segundo fontes de estatística da Eurostat. Segundo o estudo, o movimento de combate à pobreza energética baseia-se nos valores estatísticos sobre o rendimento e as condições de vida na UE, assim como os valores sobre os orçamentos dos agregados familiares.

Pela complexidade do conceito, as abordagens para medir a pobreza energética na Europa, refletem a utilização de um conjunto de indicadores combinados, que permitem analisar as várias dimensões do fenómeno. Alguns desses indicadores são suportados na medição direta, com base nas necessidades físicas de consumo energético numa determinada habitação.

Nas investigações já produzidas com base nos critérios referidos, a UE conseguiu apurar uma extensão da pobreza energética entre os 50 e os 160 milhões de pessoas, dependendo dos métodos de avaliação e quantificação, segundo o estudo do ISEG[30]. Para além destes valores, foi possível também apurar diferenças significativas entre as regiões que compõem a comunidade europeia, que avança uma maior incidência da pobreza energética nos países de Leste e Sul da Europa. As principais causas desta maior incidência são as consequências da liberalização dos mercados de energia no caso dos países de Leste, e da falta de acesso a sistemas de aquecimento adequados ou a habitação eficiente.

30. idem.

No caso de Portugal, o estudo aponta para uma despreocupação por parte das políticas públicas sobre o tema da pobreza energéticas, ao não produzirem qualquer tipo de mecanismo de combate ao referido problema, mesmo quando se observam alguns dos maiores problemas que cativam a preocupação europeia sobre outras regiões da comunidade.

"*A única medida atualmente existente – a tarifa social na eletricidade e no gás natural – não tem capacidade para promover uma correção abrangente e eficaz das suas causas mais estruturais.*"[31]

31. idem.

Com a elaboração do estudo referido, concluiu-se que Portugal, na generalidade dos indicadores, apresenta uma média de incidência da pobreza energética claramente superior à da União Europeia.

Por exemplo, quando a questão é a incapacidade de manter a casa aquecida, Portugal, segundo o estudo, apresenta um valor de 22,5%, enquanto que a média da EU é de 8,7%. Para além destes valores, as considerações restantes do estudo revelam a urgência da investigação deste problema, na tentativa de identificar as causas principais e desenvolver políticas públicas que a possam atenuar.

1.3 CONSCIÊNCIA CLIMÁTICA

Na perspetiva do arquiteto, de modo a combater a pobreza energética, revela-se necessário trabalhar com o clima, na tentativa de aproveitar a fonte de energia gratuita e minimizar os custos associados ao consumo energético dos principais elementos de consumo, como é o caso do aquecimento do espaço doméstico. Não só esta solução combate a pobreza energética como também, consequentemente, poderia ser uma forma muito eficaz de atenuar os números da mortalidade associada à incapacidade de aquecimento dos espaços domésticos no inverno apresentados na parte inicial deste estudo. Assim, para além de tentar promover o conforto da habitação, promove também a saúde pública, numa época em que esta se apresenta no centro das atenções mundiais.

Com as três problemáticas esclarecidas (as alterações climáticas, o consumo de energia e a pobreza energética), pretendemos, a partir deste momento, explorar a relação entre arquitetura e clima como resposta às mesmas. Contudo, antes de entrar na dimensão técnica do tema, é necessário desenvolver o conceito de consciência climática de forma a entender a pertinência do clima.

"As evidências arqueológicas sobreviventes sugerem que a humanidade pode existir, sem assistência, em praticamente todas as partes da Terra, que estão atualmente habitadas, exceto nas mais áridas e nas mais frias"[32]

32. BANHAM, Reyner. *The architecture of the Well-tempered Environment.* University of Chicago. Chicago, 1969. pág. 18

De facto, o Homem pode existir, e existe, em todas as partes do planeta com exceção dos desertos mais quentes ou das regiões polares. Mas a palavra existir é fundamental. Segundo Reyner Banham, "*um homem nu armado apenas com mãos, dentes, pernas e astúcia nativa parece ser um organismo viável em qualquer parte da Terra…*"[33], mas apenas existe. No sentido de prosperar, em vez de apenas sobreviver, o Homem precisa de um ambiente confortável.

33. idem.

Segundo Olgyay, desde Aristóteles até Montesquieu, muitos filósofos acreditavam que o clima teria, desde sempre, influência na condição fisiológica e até na temperatura do corpo humano[34].

34. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 3

Ellsworth Huntington colocou a hipótese de o clima se relacionar com a herança racial e desenvolvimento cultural, como um dos três grandes fatores para determinar as condições de civilização[35]. De acordo com Huntington, o Homem, que aparentemente pode viver em qualquer região onde consiga obter alimentação, tem condições estritamente limitadas sobre as quais a sua energia física e mental (e mesmo o seu caráter moral) são capazes de alcançar o seu desenvolvimento máximo[36]. Olgyay define como condições climáticas ótimas para o progresso humano[37]:

35. idem.

36. idem.

1- Uma amplitude de temperatura média entre cerca de 40ºF (4ºC) nos meses mais frios para quase 70ºF (21ºC) nos meses mais quentes;

2- Tempestades e ventos frequentes para manter a humidade alta exceto nos climas quentes, e com chuva em todas as estações;

3- Uma constante sucessão de tempestades ciclónicas que trazem alterações moderadas na temperatura, mas não são severas o suficiente para serem prejudiciais.

37. idem.

Outro contemporâneo, Julian Huxley, relaciona a história humana com o clima ao comparar o desenvolvimento das civilizações antigas com épocas húmidas ou secas. O autor especula que os efeitos biológicos das mudanças dos períodos climáticos mantêm o equilíbrio das populações. Quando o período finda, acontecem alterações, que trazem, não só guerras, mas também ideias fertilizantes ao desenvolvimento do Homem[38].

38. idem.

A capacidade inventiva do Homem fê-lo capaz de desafiar os rigores do seu ambiente. Segundo Olgyay, quando o mais fraco dos animais substituiu a capacidade de invenção do Promethean para a adaptação física para as outras espécies, o abrigo tornou-se o seu mais elaborado mecanismo de defesa contra o clima hostil, o que por sua vez, alargou o espaço do equilíbrio biológico e assegurou um meio favorável à produtividade[39]. As ferramentas que o Homem utiliza para alcançar tal meio favorável no seu ambiente imediato decorrem principalmente de recursos tecnológicos, como sistemas de controlo de temperatura, elementos de privacidade, ou atividades sociais.

39. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 3

Banham explica que, a humanidade, por toda a sua história, optou por um método convincente para prosperar com tais níveis de conforto: "*erguer estruturas maciças e aparentemente permanentes.*"[40] As estruturas permanentes a que se refere o autor, os edifícios, são soluções que garantem o conforto a vários níveis, para lá da proteção contra as intempéries, como abrigo. Outras soluções parciais, como o vestuário ou uma fogueira, são soluções úteis, mas não oferecem a satisfação a vários níveis como o edifício.

40. BANHAM, Reyner. *The architecture of the Well-tempered Environment.* University of Chicago. Chicago, 1969. pág. 18

Reyner Banham, apresenta-nos um cenário onde uma tribo nómada chega ao local onde vai pernoitar e encontra uma série de ramos caídos das árvores que lhes podem ser úteis, para nos explicar dois métodos de aproveitamento dos recursos do ambiente:

"Pode ser usado para construir um protetor do vento ou da chuva – a solução estrutural – ou pode ser usado para construir uma fogueira – a solução operada por energia."[41]

41. ibidem, pág 19

Explica então o autor que a tribo ideal, racionalista, consideraria a quantidade de recursos disponíveis e em conjunto com as previsões que pudesse averiguar, utilizaria as duas soluções em percentagens adequadas. Já a tribo real, herdeira de predisposições culturais, optaria por uma ou outra solução, consoante os costumes.

O que se propõe neste estudo, de certa forma, é uma mistura delicada entre os conceitos das duas tribos, na medida em que os recursos são utilizados de forma racional, de acordo com previsões concretas sem deixar de lado a herança cultural cujo conhecimento ensina a controlar o ambiente que se pretende promover. Ou então, sobre a perspetiva das soluções, uma mistura delicada entre a solução estrutural, que envolve um maior investimento singular inicial e a solução operacional no uso dos recursos energéticos, que são escassos. Este é um conceito que facilmente se verifica nas civilizações pré-tecnológicas, que por falta de acesso a essa mesma tecnologia ou até aos combustíveis, desenvolveram as soluções estruturais que satisfaziam as suas necessidades de conforto e que hoje se conhecem na história da arquitetura, como poderemos ver.

Esta aproximação de escala serviu principalmente para despir o arquiteto das ferramentas que o permitem ser o artista que é, e sem isso, voltar ao seu estado mais elementar de existência, de forma a alertá-lo para o conceito de necessidade, fundamentalmente em termos de conforto. O arquiteto tende a ver o espaço consoante o seu ambiente mais familiar e não tem, à partida, a experiência que uma tribo de nómadas teve. Numa arquitetura como esta, interessa particularmente que o arquiteto desenhe uma solução estrutural que, ao existir, ofereça as condições necessárias à prosperidade da comunidade que a habita. O uso, ou a solução operacional fica garantida pela exploração de recursos dos habitantes, que pelo otimizado desenho da estrutura, ficarão reduzidos ao mínimo e oferecem soluções às três problemáticas deste estudo.

Uma solução estrutural pode manter o Homem fresco no verão, mas muito pouco fará pelo mesmo em temperaturas muito frias. Ou então pode ajudar a controlar o encandeamento da luz do dia, mas não o fará ver no escuro da noite. Por muito que a sociedade possa acreditar que a solução estrutural é suficiente para o controlo do conforto, o indivíduo sabe que esta não chega.

ARQUITETURA E CLIMA: ALGUMAS FERRAMENTAS DE PROJETO 2.

CONFORTO 2.1
Conforto térmico 2.1.1
Fatores de conforto
Mecanismos de ajustamento
Zona de Conforto 2.1.2

ENERGIA 2.2
Radiação solar 2.2.1
Geometria Solar
Orientação 2.2.2
Fluxo de calor

CLIMA 2.3
Classificação de climas 2.3.1
Definição climática 2.3.2
Elementos climáticos
Microclima 2.3.3
Movimento do ar

2.1 CONFORTO

O ser humano procura sempre o conforto. Desde que nos conhecemos como seres humanos que o homem procura o conforto, desde logo na sua forma mais elementar, que hoje acaba por ser um dado mal adquirido. Desde o início da nossa história que construímos o abrigo para nos proteger de intempéries e do rigor do clima, e essa construção nada mais é que a procura pelo conforto, seja este simplesmente térmico ou ambiental.

O conforto que o ser humano procura no espaço que habita resulta de um sistema complexo de variáveis que ultrapassam o domínio térmico. Segundo Rafael Serra, os parâmetros ambientais de conforto são características objetivas de um espaço, na sua preparação para receber o habitante[1].

1. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 14

Como tal, os referidos parâmetros podem ser desenhados, explorados e analisados sobre o objeto ou espaço, independentemente do usuário, sendo que estes normalmente respondem aos sentidos do mesmo, como a acústica, a luz ou a térmica, e podem ser desenvolvidos com base no conhecimento da física. Naturalmente, existirá sempre uma dimensão individual que nunca será possível dominar.

"Estas condições pessoais serão de tipos distintos, segundo se trate de condições: biológico-fisiológicas (como idade, sexo, herança cultural, etc.), condições sociológicas (como o tipo de atividade, a educação, o ambiente familiar, a moda, o tipo de alimentação ou a adaptação cultural), e *psicológicas, segundo as características individuais de cada um dos usuários."*[2]

2. ibidem, pág. 13

Um espaço confortável deve tentar controlar de forma muito afinada os parâmetros objetivos e ter em conta os parâmetros pessoais, para que se tenha plena noção de cada decisão que se toma em fase de projeto.

Segundo Schmid, o conceito de conforto aplicado no ambiente construído, não era alvo de reflexão até ao final do século XVIII, momento em que o surgimento da Burguesia na Europa começa a destacar tais preocupações de conforto sobre o espaço habitável.[3]

3. SCHMID, Aloísio Leoni. *A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído.* Pacto Ambiental. Curitiba, 2005. pág. 9

Contudo, no início do século XX, com o movimento moderno a desenvolver-se, cria-se um "*núcleo de verdadeira hostilidade à noção de conforto, visto como impróprio à estética em voga – uma estética da engenharia e do progresso material*". Le Corbusier, com a introdução do conceito de casa como "*maquina de habitar*", "*pedia às pessoas menos sentimentalismo e mais objetividade ao tratar da casa*"[4].

4. ibidem, pág. 10

E tão objetivos seriam tais pressupostos que máquinas de climatização acabam por ser parte integrante da linguagem dos edifícios, desafiando a sua pureza plástica, porque se viam forçados, num estilo internacional de envidraçados, a adaptar a situação térmica interior, por ignorar o clima envolvente.

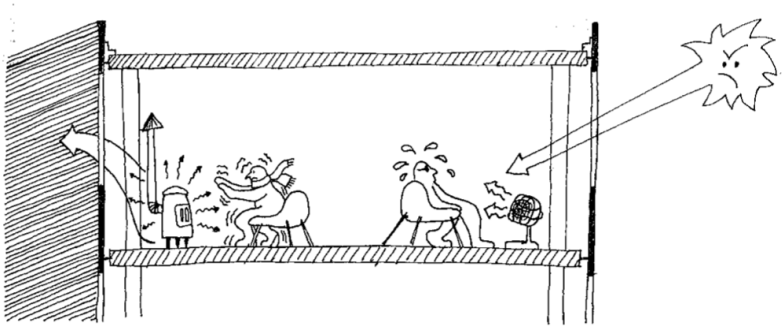


Imagem 5. A procura pelo conforto ambiental.

Com a crise petrolífera da década de 70 começam a ser questionadas tais soluções de climatização, pela consequente avaliação da eficiência energética dos edifícios. De facto, a proposta do movimento moderno descartava a especificidade geográfica em prol de um estilo internacional, o que resultou em propostas contrárias como os modelos da arquitetura bioclimática, passiva ou sustentável.

2.1.1 Conforto térmico

O conforto térmico é um estado físico do ser humano. Este conceito pode ser esclarecido como um estado de ausência de necessidade de interagir com o meio que o circunda, em relação à temperatura. A procura por conforto térmico é naturalmente mais experienciada que o conforto térmico em si.

Abrir ou fechar uma janela, ou simplesmente o ato de escolher a roupa a vestir são processos de procura por esse estado de conforto. Ou seja, a necessidade de procurar conforto térmico faz parte da rotina quotidiana das pessoas e é transversal a classes sociais, atividades profissionais ou características pessoais.

O nosso organismo, com o auxílio do oxigénio, queima as calorias provenientes dos alimentos e produz o calor corporal, que por sua vez apresenta um valor constante de 37ºC[5].

Interessa aqui salientar essa condição de permanência da temperatura corporal que faz do Homem um ser homeotérmico, ou seja, que permanece com a mesma temperatura corporal independentemente do clima[6]. Para que tal permanência seja possível, o corpo dispõe de mecanismos termorreguladores naturais, esclarecidos adiante, que mantêm o referido equilíbrio.

O corpo humano produz constantemente calor através do metabolismo. Segundo Szokolay, um corpo humano comum produz, em média 100W de energia, que podem variar consoante a atividade que este pratique, entre os 70W em repouso e os 700W ao desenvolver um trabalho pesado[7]. Tal energia térmica, ou tal calor, tem que ser dissipado para o ambiente, de forma a evitar que o corpo sobreaqueça e ultrapasse a sua temperatura normal de 37ºC, embora na pele se verifique uma temperatura entre os 31ºC e os 34ºC.

5. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 16

6. ibidem, pág. 19

7. ibidem. pág. 16

O balanço térmico do corpo humano depende de fatores como o calor produzido pelo metabolismo, as trocas térmicas por radiação, por convecção, por condução, por evaporação ou ainda por alterações no calor acumulado.

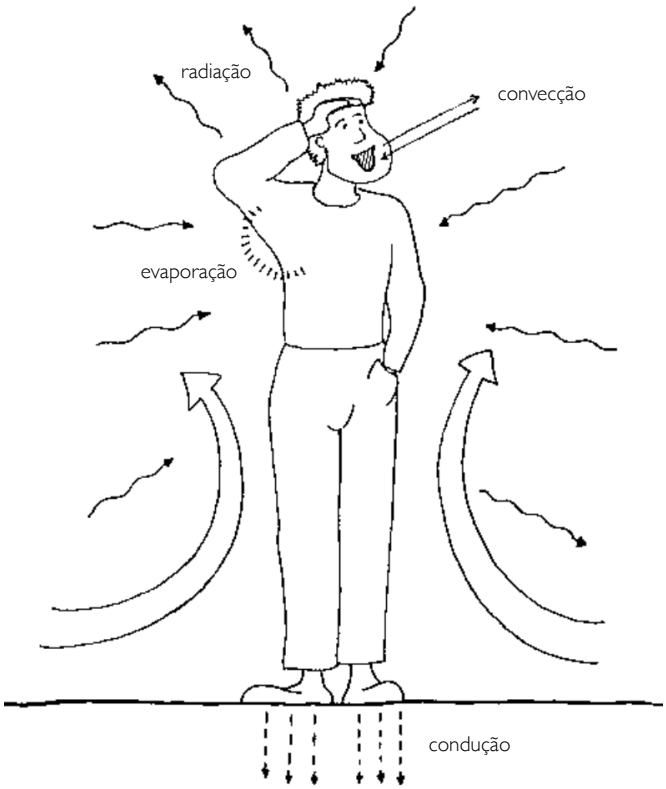


Imagem 6. Trocas térmicas do corpo humano.

A condição de equilíbrio do estado confortável do corpo humano prevê que a soma de todos esses fatores seja 0, o que consiste numa precondição do conforto térmico aplicado.[8]

8. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 17

Contudo, o sentido de conforto para o ser humano não se baseia apenas no conforto térmico, pelo que acaba por ser uma condição muito subjetiva que ultrapassa fatores físicos e fisiológicos. Ainda assim, um bom ambiente ao nível da térmica, da iluminação e da acústica pode ser uma base muito sólida para alcançar níveis de conforto ambiental mais próximos dos desejados pela maioria dos habitantes.

Fatores de conforto

A relação entre o ser humano e o meio ambiente que o mesmo habita pode ser explorado cientificamente através da física, e Szokolay separa as variáveis que podem condicionar a dissipação de calor do corpo humano, como fator com maior incidência na referida relação, em três secções[9]. A primeira secção consiste nas variantes ambientais, como a temperatura, o movimento do ar, a humidade ou a radiação. A segunda refere-se à condição pessoal, com as influências do metabolismo, do vestuário ou do estado da saúde. A última secção introduz outros fatores como a alimentação, a forma física, a gordura, a idade ou o género.

9. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág 17

A temperatura do ar, naturalmente, é o fator que mais contribui para a dissipação do calor através da convecção. O movimento do ar acelera a convecção, mas também altera o coeficiente de transferência térmica, assim como aumenta a evaporação através da pele, o que resulta num efeito de arrefecimento fisiológico. Em relação à humidade, Szokolay identifica o intervalo entre 30% e 65% de humidade relativa, como fatores que não revelam influência no sistema de reposição do equilíbrio térmico do corpo humano, enquanto que valores de humidade superiores a 65% condicionam o processo de dissipação do calor através da evaporação; e os valores de humidade inferiores a 30% causam desconforto pela seca das membranas mucosas do corpo, como a boca e a garganta[10].

10. idem.

A taxa de metabolismo é um fator com destaque e depende principalmente da atividade que o corpo estiver a desempenhar. A unidade de medida para esta taxa denomina-se *met* e equivale a 58,2 W/m^2 segundo Szokolay[11]. O valor médio ronda os 115W, mas com valores elevados de *met*, será preferível um ambiente mais fresco, de modo a auxiliar a dissipação do calor acumulado para o ambiente[12]. O vestuário é o isolamento térmico do corpo humano. Revela também uma unidade de medida exclusiva, *clo*, que equivale ao valor de U de cerca de 6,45W/m^{2}K. 1 *clo* corresponde a um tipo de vestuário que cobre toda a superfície do corpo.

11. idem.

12. ibidem, pág.18.

Mecanismos de ajustamento

"*O corpo não é puramente passivo, é homeotérmico.*"[13] Isto significa que o corpo procura sempre repor o equilíbrio térmico que necessita para o seu correto funcionamento. Para que tal seja possível, o corpo humano é munido de uma série de mecanismos de ajuste das referidas condições térmicas.

Relativamente ao ambiente térmico, abordaremos dois principais mecanismos que têm grande influência na referida reposição do equilíbrio térmico do corpo.

O primeiro mecanismo é a vasoconstrição, principalmente útil ao corpo humano em ambientes mais frios. Consiste na redução do fluxo sanguíneo, de forma a reduzir a temperatura da pele e consequentemente reduzir a dissipação de calor[14]. Para os ambientes mais quentes, o corpo dispõe de um segundo mecanismo denominado como vasodilatação, que em oposição ao anterior, acelera a fluxo sanguíneo, aumentando a temperatura da pele e consequentemente aumentando a dissipação de calor[15].

Para além destes mecanismos, o corpo possui uma capacidade de adaptação, com mecanismos de ajuste a longo prazo, que, segundo Szokolay, podem variar entre alguns dias e seis meses. Estes envolvem o sistema cardiovascular e o sistema endócrino[16]. Szokolay sugere o exemplo dos climas quentes, onde tais ajustamentos podem consistir num aumento do volume sanguíneo, o que melhora a eficácia do mecanismo de vasodilatação, melhorando, por sua vez, a performance do mecanismo de transpiração, assim como um reajuste às preferências térmicas de conforto[17]. Sobre condições como estas, de forma continuada, alguns dos mecanismos podem tornar-se permanentes, formando um reajustamento das preferências de conforto. Contudo, este é um aspeto, que para além de fisiológico, tem uma forte vertente psicológica, na medida em que o Homem tem que aceitar, sem dificultar a transição do corpo, as novas condições a que este vais estar sujeito a longo prazo[18].

13. ibidem, pág. 19

14. idem.

15. idem.

16. ibidem, pág. 20

17. idem.

18. idem.

2.1.2 Zona de conforto

A zona de conforto consiste na amplitude das condições térmicas aceitáveis. Os limites da referida zona, segundo Szokolay, e com uma taxa de aceitação de cerca de 90%, variam em 2,5ºC da temperatura neutra de referência (22ºC), como temperatura ideal para o espaço termicamente confortável[19].

19. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 21

Segundo o mesmo autor, desde o início do século XX que se tenta desenhar um índice de conforto geral, que para além da componente térmica, antecipasse outras variáveis importantes ao conforto do espaço habitado. O primeiro modelo aparece em 1923 por Houghten e Yagloglou com o nome "temperatura efetiva", mas apenas em 1953, com Victor Olgyay se desenvolve um modelo sólido sobre o índice da zona de conforto.

O "Gráfico Bioclimático" apoia-se na temperatura do termómetro de bulbo seco no eixo horizontal, e na humidade relativa no eixo vertical, sobre os quais se desenhava uma forma considerada pelo autor como zona de conforto. As curvas superiores a essa forma mostram como o movimento do ar pode expandir os limites superiores, e as curvas inferiores a essa forma mostram como acontece o mesmo tipo de extensão, por radiação[20].

20. idem.

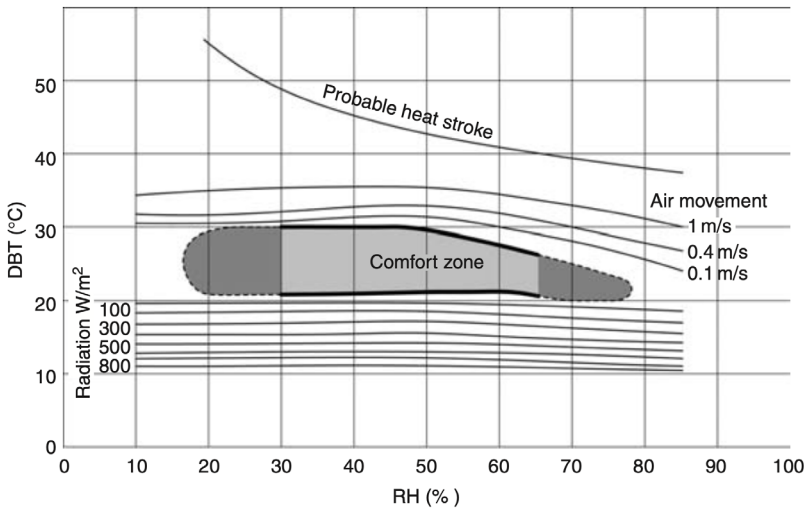


Imagem 7. Olgyay's bioclimatic chart, converted to metric, modified for warm climates. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 21

O mais recente modelo, que Szokolay considera como mais eficiente, é o ET*, ou na sua versão mais democratizada, Standart de Temperatura Efetiva (SET)[21].

21. idem.

Contudo, como tem mais interesse ao estudo uma abordagem arquitetónica com base na necessidade do que uma abordagem quantitativa com base na avaliação da eficácia do sistema, recorremos, por sua vez, ao esquema de Givoni, esclarecido no anexo B. Este, como no caso do gráfico bioclimático de Olgyay, apoia-se no gráfico psicométrico para categorizar, não só a zona de conforto, como também as necessidades de ajustamento aos valores climáticos, para que esses se moldem de forma a aproximarem-se da referida zona.

Com apoio na elaboração da carta psicométrica, esclarecida no anexo A, a um nível científico, é possivel apontar as necessidades térmicas relativas ao objeto de estudo. Nesse sentido, a partir deste momento, com base no trabalho de Givoni procuramos apontar as necessidades térmicas na configuração climática da cidade do Porto.

O anexo B aponta as componentes que constituem o referido esquema, e afina, caso a caso, o que cada um desses elementos representa. Uma vez que estes refletem as necessidades térmicas do ambiente em questão, servirão de base para o fundamento das soluções que se apresentam no capítulo seguinte que, por sua vez, serão respostas de uma postura arquitetónica que tenta adaptar os valores apurados, consoante as necessidades, aos níveis de conforto mais favoráveis, dentro do possível.

Pretende-se com isto, esclarecer quais são as reais necessidades a abordar, para que se consiga a melhor síntese arquitetónica possível para a configuração climática escolhida.

Para a localização da cidade do Porto, o exercício referido no anexo C resultou no esquema que podemos ver nas quatro figuras seguintes. Verifica-se, portanto, que em condições naturais, as necessidades térmicas desta localização consistem essencialmente no aquecimento, com exceção de uma percentagem dos meses de verão.

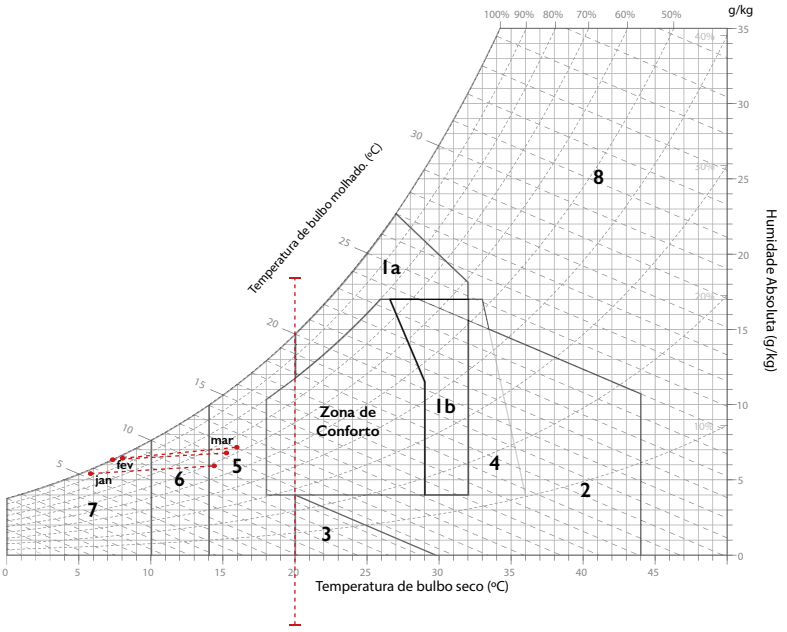


Imagem 8. Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no primeiro trimestre do ano.

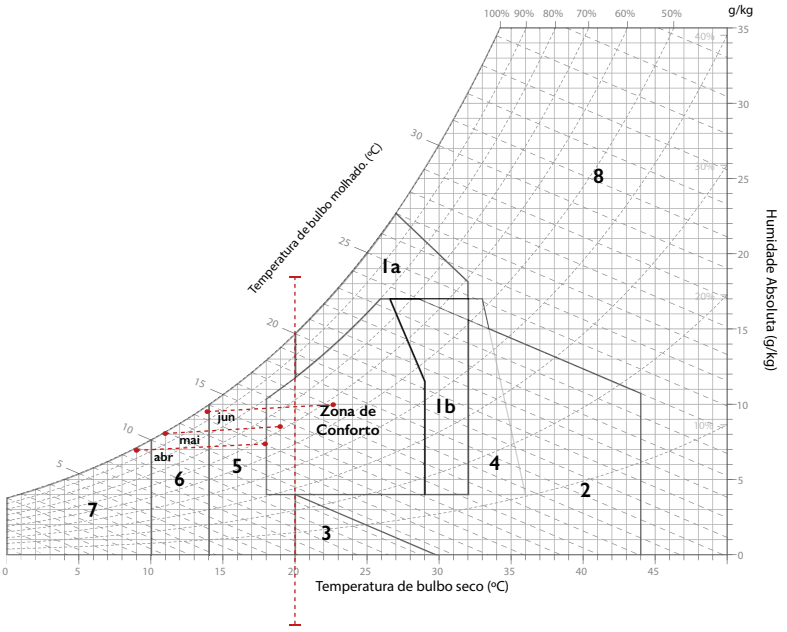


Imagem 9. Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no segundo trimestre do ano.

Repare-se que, durante uma grande parte do ano, as necessidades de aquecimento têm grande presença, chegando a ultrapassar as capacidades das estratégias bioclimáticas. O verão acaba por ser algo mais ameno, com vários dias dos meses mais quentes dentro dos padrões de conforto, embora se deva ter cuidado para que essas condições se mantenham.

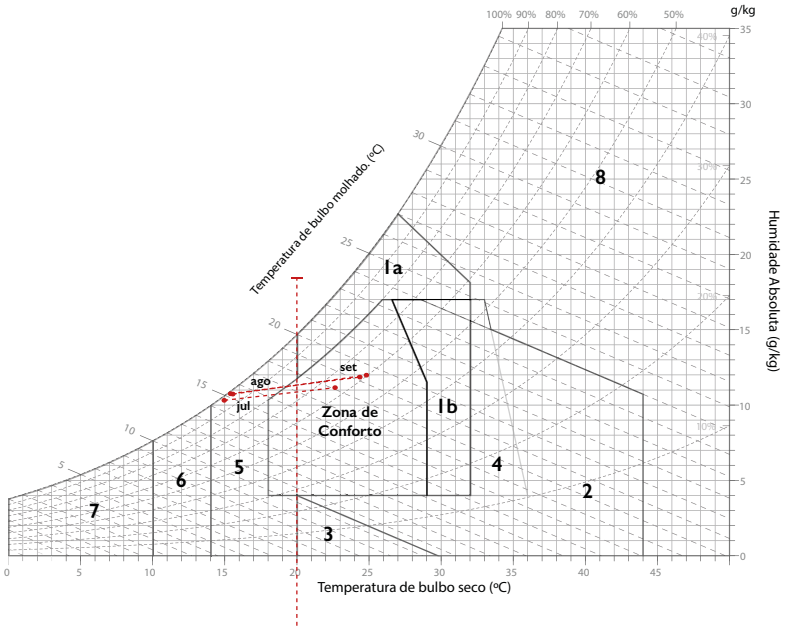


Imagem 10. Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no terceiro trimestre do ano.

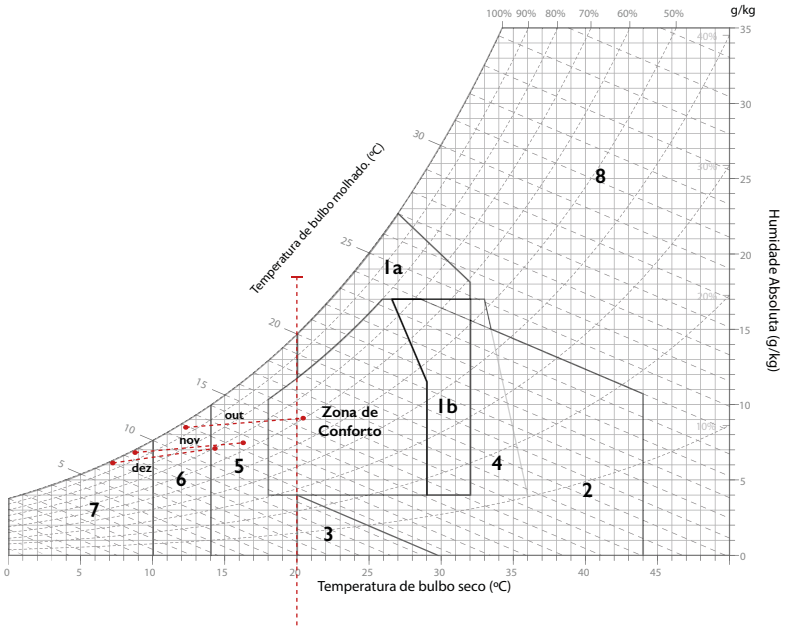


Imagem 11. Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no quarto trimestre do ano.

2.2 ENERGIA

Ao promover uma postura arquitetónica que tenta melhorar o conforto térmico do espaço doméstico, com o objetivo de produzir um modelo que tenta reduzir os níveis de pobreza energética, as principais soluções consistem em estratégias de aquecimento do mesmo espaço através do aproveitamento da energia solar, que por sua vez é gratuita. A principal fonte de energia é então a radiação solar, que pode aquecer o espaço doméstico quando dominada pelo projeto de arquitetura que manipula o calor proveniente do sol em prol do conforto que se pretende aplicar no referido espaço.

Em relação com o desenho do movimento do ar, característica principal deste projeto de arquitetura, o transporte de calor é tão ou mais importante na sua relação com esse ar, na medida em que este será a matéria de projeto que realmente dita a eficácia do sistema como um todo, através de uma série de estratégias arquitetónicas que o manipulam. Resta-nos então compreender em que consiste o referido calor e como o mesmo se comporta no interior do espaço habitado, com o intuito de desenvolver um domínio sobre o mesmo, e aplicá-lo, segundo as estratégias mais favoráveis no projeto de arquitetura que este estudo pretende desenhar.

O calor, segundo Szokolay, é uma forma de energia contida em substâncias com movimento molecular ou que aparece no espaço como radiação eletromagnética, sendo a temperatura o sintoma da presença de calor numa sustância.[22] Para medir essa temperatura, a escala de Celsius baseia-se na água para encontrar os pontos de referência 0ºC e 100ºC, sendo o primeiro o ponto de congelamento da água e o segundo o ponto de ebulição.

A escala de Kelvin, por sua vez, tem como ponto de partida a total ausência de calor, ou segundo Szokolay, o zero absoluto, e é também uma escala útil na medida em que é geralmente utilizada para representar intervalos de temperatura, sem especificar onde,

22. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág 5

enquanto que a escala de Celsius representa um ponto, ou uma temperatura especifica. Isto acontece porque, embora não partilhem os mesmos pontos de referência, ambas partilham o mesmo intervalo de temperatura. Para se ficar com uma ideia de como estas escalas se relacionam, 0ºC equivalem a -273,15ºK, mas a diferença entre 10ºC e 40ºC equivale a 30ºK.[23]

23. idem.

A termodinâmica é a ciência que estuda o fluxo de calor (energia) e a sua relação com o trabalho mecânico. Segundo Szokolay, a termodinâmica apresenta-se segundo duas leis: A primeira consiste no princípio de conservação de energia, isto é, a energia não pode ser criada ou destruída, mas sim convertida entre energia e trabalho. A segunda lei afirma que a mesma energia apenas pode ser transferida numa direção, como por exemplo, de um corpo quente para um corpo frio[24].

24. ibidem. pág 6

Toda a matéria é constituída por partículas em movimento, e à energia desse movimento dá-se o nome de energia cinética. Contudo, nem todas as partículas de uma substância têm a mesma quantidade de energia cinética, pelo que quando medimos a temperatura de uma qualquer substância, estamos realmente a medir a média da quantidade de energia cinética das partículas que a mesma contém. A energia térmica, por sua vez, depende da temperatura da substância, assim como da quantidade de partículas.

A transferência de calor deve-se então à relação entre a temperatura e o movimento das partículas. A alteração na temperatura de uma determinada substância reflete mudanças na velocidade do movimento das suas partículas. Ao aumentar a temperatura, as partículas ganham velocidade, e pelo contrário, ao arrefecer, as partículas abrandam o seu movimento. Assim, tal diferença de velocidade desenvolve a transferência de calor de zonas quentes para zonas mais frias através do movimento das partículas, o que faz com que o calor tenha a capacidade de fluir.

2.2.1 Radiação solar

Segundo Francisco Moita, a quantidade de energia que alcança a superfície terrestre (1,5 x 1018 kWh/a) equivale a cerca de 25000 vezes a energia consumida pela humanidade, num período de tempo anual[25]. Tal afirmação reforça a pertinência da utilização deste tipo de energia no domínio da arquitetura, uma vez que é gratuita e não polui.

A temperatura da superfície do sol, ronda os 5500ºC, sendo que o espectro de emissão radiante ronda os 550 nm de comprimento de onda, podendo este variar entre os 200 nm e os 3000 nm[26].

De acordo com Szokolay, é possível distinguir três tipos de radiação[27], que por sua vez apresentam três percentagens distintas da quantidade total de energia emitida[28]:

- Radiação ultravioleta, entre 200 nm e 380 nm de comprimento de onda, que representa cerca de 7% da quatidade total de energia;

- Radiação leve ou visível, desde 380 nm até 700 nm de comprimento de onda, que representa cerca de 47% da quantidade total de energia;

- Radiação infravermelha curta, entre 700 nm e 3000 nm, conhecida como radiação térmica, que representa cerca de 46% da quantidade total de energia.

A figura seguinte mostra a distribuição da radiação solar na superfície terrestre, através de linhas de representação da radiação solar média anual (MWh/m2/a). O quadrado a negro representa uma área simbólica que reflete a quantidade de energia equivalente ao consumo energético atual, no mesmo período de tempo[29]. Assim, é possivel ter uma ideia da potencialidade que a utilização da energia solar pode ter, não só no dominio do conforto térmico, mas também na produção de eletricidade.

25. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 20

26. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 25

27. idem.

28. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 21

29. idem.

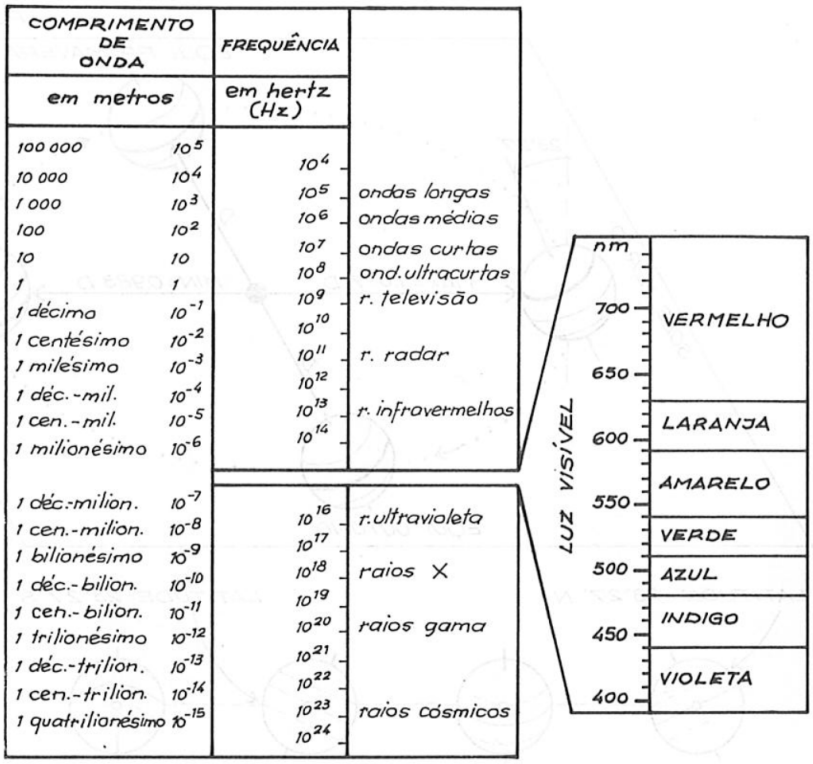


Imagem 12. Domínio do espectro da radiação solar (à direita aumentado) situado na generalidade do espectro eletromagnético.

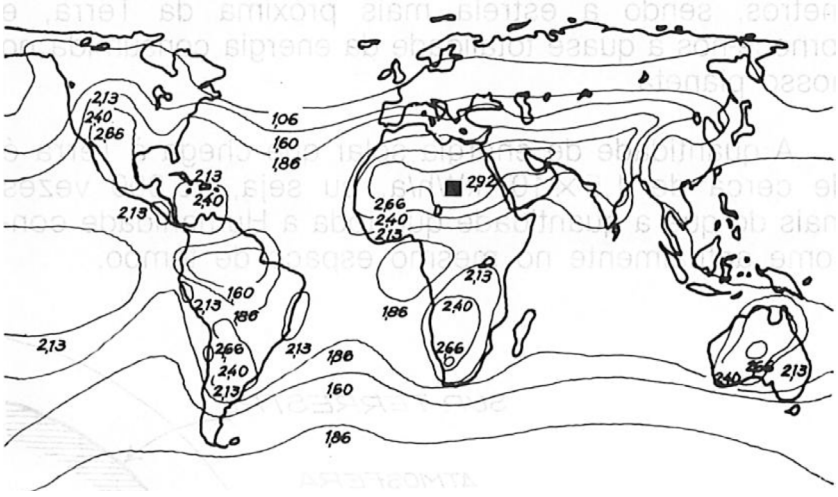


Imagem 13. A distribuição da radiação solar na superfície terrestre é dada pelas linhas de radiação solar média anual (MWh/m²/a). No quadrado a negro, a radiação dolar por unidade de tempo é maior que o consumo de energia atual de toda a humanidade no mesmo espaço de tempo.

A energia proveniente da radiação solar é produzida no núcleo do Sol através de uma reação termonuclear que liberta uma onda de calor, que por sua vez regista uma temperatura de cerca de 5500ºC à sua superfície. A onda de calor expande-se com uma intensidade de cerca de 6600 W/cm2, e uma velocidade de 300000 km/s, o que faz com que a energia produzida alcance a atmosfera terrestre cerca de 8,27 minutos mais tarde, segundo o mesmo autor[30]. À entrada da atmosfera, a intensidade é reduzida quando comparada à inicial, com valores que são dominados como constante solar, e que rondam os 1370 W/m2, sendo que podem variar sobre uma margem de 2%.

30. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 21

Da energia recebida através da radiação solar pela atmosfera terrestre, cerca de 32% é refletida desde logo para o espaço por difusão, sem alterações na sua qualidade, enquanto outros 15% são absorvidos na atmosfera e reemitidos para o espaço com alterações na sua qualidade, uma vez que estas são emitidas em forma de ondas de longo comprimento, ou ondas longas[31].

31. ibidem, pág. 23

Os restantes 53% alcançam a superfície terrestre, mas acabam por ser emitidos de novo num processo natural que procura restaurar a condição de equilíbrio de forma a alcançar um balanço térmico nulo[32].

32. idem.

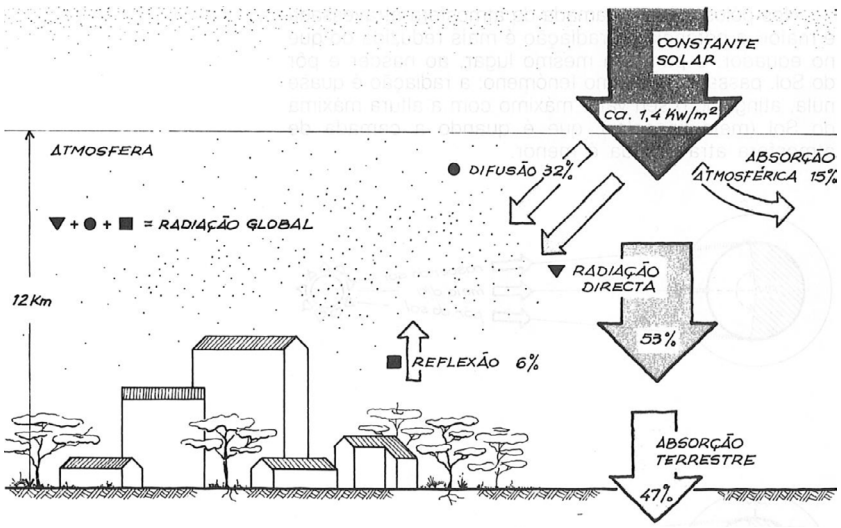


Imagem 14. Representação esquemática da influência da atmosfera (em percentagem) nos fenómenos de absorção e difusão da radiação solar e da quantidade absorvida e reflectida pela superfície terrestre.

A variação dos níveis de radiação solar ao longo da superfície terrestre, segundo Szokolay, acontecem devido a três fatores[33]:

- o ângulo de incidência: de acordo com a lei dos cossenos a radiação recebida por uma superfície resulta da multiplicação da radiação normal pelo cosseno do ângulo de incidência;

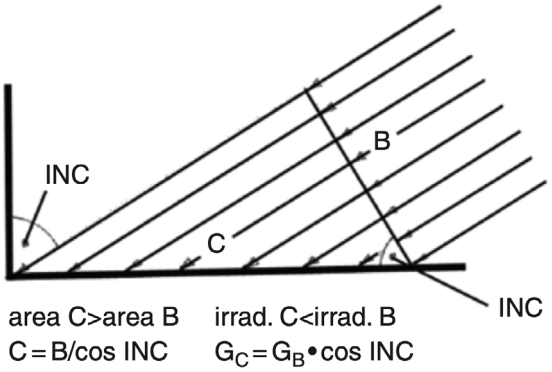


Imagem 15. Radiation path lengths through the atmosphere.

- o esgotamento atmosférico, que varia entre 0,2 e 0,7, principalmente porque com ângulos de baixa altitude, a radiação tem que atravessar uma distância maior pela atmosfera, especialmente na camada da troposfera, sendo esta a mais baixa, mais densa, mas também pela influência da nebulosidade e da poluição.

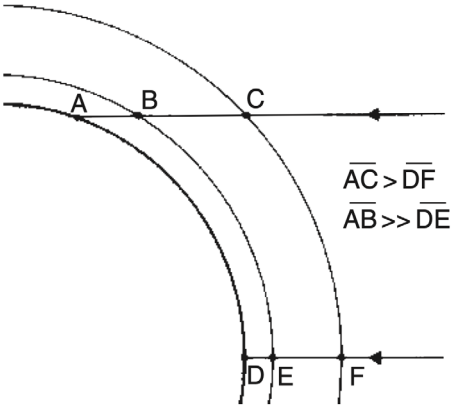


Imagem 16. Radiation path lengths through the atmosphere.

- e ainda a duração da exposição solar, que significa o período de tempo de iluminação solar diária, desde o nascer ao pôr do sol, que pode ainda ser reduzido pela topografia local, pela quantidade de vapor de água ou ainda pelos níveis de poluição[34].

33. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 26

34. Para localizações próximas a grandes centros de emissão de GEE.

Geometria solar

O clima na Terra é principalmente influenciado pela exposição solar da superfície terrestre. Segundo Szokolay, existem dois aspetos essenciais que devem ser dominados no projeto, pelo arquiteto: a geometria solar, representada pelo movimento aparente do sol; e o fluxo de energia derivado do mesmo, para que esta seja aproveitada ou excluída quando necessário[35].

35. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 22

Segundo uma perspetiva heliocêntrica, a terra movimenta-se em torno do sol numa orbita ligeiramente elíptica. A distância entre os dois astros varia assim entre os 147 milhões e os 152 milhões de quilómetros[36].

36. idem.

O eixo, sobre o qual a terra desenvolve o seu movimento de rotação, não é perpendicular em relação ao plano de orbita do movimento de translação, pelo que apresenta uma inclinação de aproximadamente 23,45°.

Consequentemente, o ângulo entre o plano equatorial terrestre e o plano da orbita da Terra varia ao longo do ano, sendo este conhecido por declinação. A variação encontra-se entre +23,45°, a 22 de junho, no solstício, os 0°, nas datas de equinócio (21 de março e 22 de setembro), e -23,45°, no solstício, a 22 de dezembro.

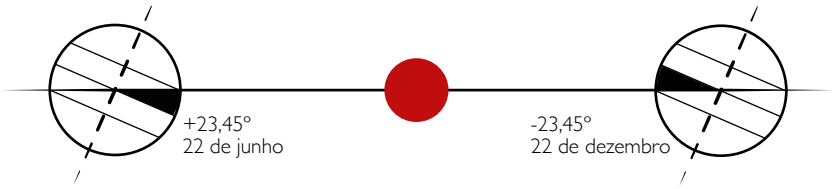


Imagem 17. 2D section of the earth's orbit (redesenho).

Embora a perspetiva anterior seja importante para perceber o sistema físico da relação entre os dois astros, quando aplicada ao edifício, deve ser um dado adquirido ao arquiteto para que ele possa desenvolver uma perspetiva lococêntrica[37] do local onde o projeto se vai implantar.

37. ibidem, pág. 23

Nesta perspetiva, a posição do observador encontra-se no centro do hemisfério celeste, sobre o qual a posição do sol pode ser registada através de dois ângulos[38]:

- Altitude (ALT): o ângulo medido positivamente desde o horizonte, onde 90º representa o Zénite;
- Azimute (AZI): o ângulo medido no plano horizontal desde o norte (0º), sendo este 90º, sul 180º e oeste 270º.

38. idem.

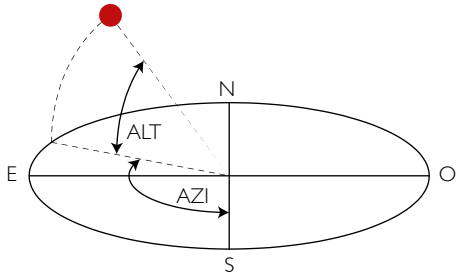


Imagem 18. Altitude and azimuth angles. (redesenho).

Segundo a perspetiva lococêntrica, e relacionando-a com a perspetiva heliocêntrica, o sol atinge a posição de interseção com Zénite ao meio dia do dia 22 de junho ao longo do Trópico de Cancêr (latitude +23,45º) e ao longo do Trópico de Capricórnio no dia 22 de dezembro[39].

39. idem.

A figura seguinte apresenta a perspetiva lococêntrica do percurso solar para uma localização do hemisfério norte com 41º de latitude, onde podemos, por exemplo, encontrar a cidade do Porto, e para uma localização do hemisfério sul com -41º de latitude:

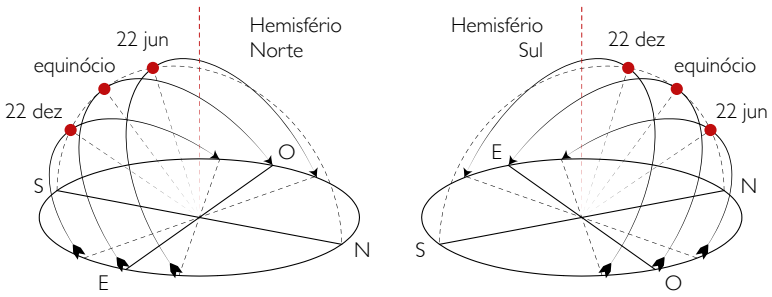


Imagem 19. Lococentric view of the sky hemisphere with sun-paths for the main dates. (redesenho).

Para um observador voltado para o equador, no hemisfério norte o sol nasce a este e movimenta-se a sul, para pousar a oeste. Já no hemisfério sul, sobre a mesma orientação do observador, o sol movimenta-se a norte.

A carta solar, esclarecida no anexo C acaba por ser o método de representação mais simples de registar o movimento aparente do sol. O hemisfério celeste é representado por um círculo (em que o centro refere os 90º do Azimute) onde se regista a direção do sol, o azimute (AZI), em pontos ao longo do referido círculo. Os ângulos da altitude (ALT), apontados desde o horizonte acima, são representados por uma série de círculos concêntricos[40].

As linhas do movimento aparente do sol são registadas na carta de forma diferente dependendo da latitude da localização em questão, para qualquer dia do ano.

Por exemplo, para uma localização equatorial, onde a Latitude = 0º, o esquema apresenta-se simétrico em relação à linha do equinócio, que por sua vez é reta. Para localizações acima ou abaixo do equador o esquema varia assimetricamente segundo a tendência de afastamento da localização em relação ao referido equador. Para regiões polares, o percurso solar apresenta-se como círculos concêntricos, com ligeiros desvios que se aproximam de formas elípticas durante meio ano[41].

40. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 24

41. ibidem, pág. 24-25

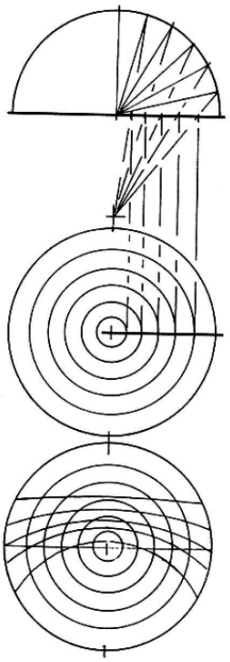
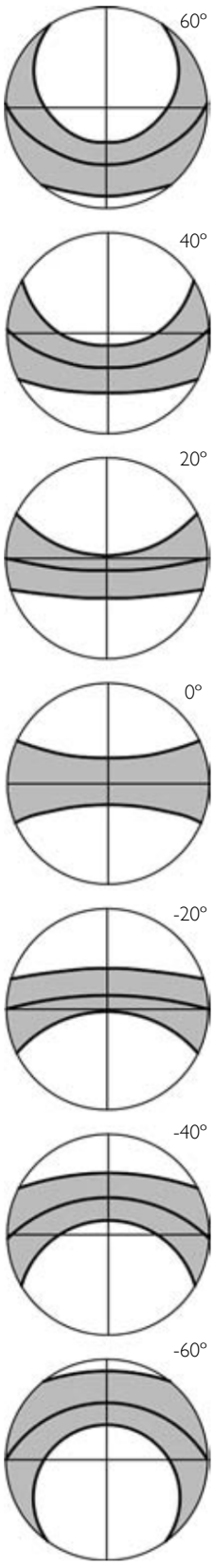


Imagem 20. Stereographic projection method.



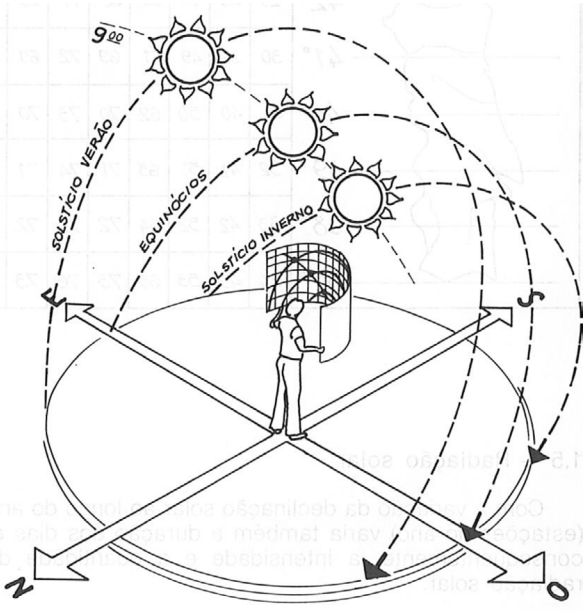


Imagem 21 (esquerda). The shift of sun-path lines on the solar chart, with latitudes.

Imagem 22 (direita). A variação das alturas solares origina, ao longo do ano, diferentes períodos de insolação e diferentes ângulos de incidência solar.

2.2.2 Orientação

O sol foi, desde as culturas antigas, um símbolo sobre o qual se faziam rituais. Desde a antiguidade que a história da arquitetura conta com obras que se desenvolvem em torno do sol como ponto de referência, com orientações muito precisas que o evidenciam. Vitrúvio dedica grande parte do seu discurso às vantagens que o sol pode oferecer, principalmente nos planos urbanísticos das cidades, pela orientação do edificado.

Segundo Olgyay, assim como as estações do ano são muito diferenciadas pela inclinação do eixo terrestre em relação ao sol, a orientação de um edifício pode diferenciar o aproveitamento da radiação solar sobre as diferentes fachadas.[42]

42. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 53

Com o conhecimento já adquirido e com desenvolvimento constante das tecnologias de avaliação e medição da radiação solar, a abordagem à orientação do edifício acaba por ser resultado de um cálculo. Contudo, com base nos dados que dispomos neste estudo, acaba por ser possível adotar uma abordagem mais intuitiva. Com base no campo de trabalho deste estudo por exemplo, é possível aferir que a exposição solar a sul é a mais favorável, uma vez que, para além de ser a orientação que mais radiação solar recebe, mantém a temperatura mais constante ao longo do ano, enquanto que as fachadas nascente ou poente, embora mantenham regularidade no que diz respeito à exposição solar, diferem na temperatura entre o verão e o inverno.

Interessa reforçar que a abordagem do arquiteto deve ter a orientação a sul como um ponto de referência muito importante no seu desenho, assim como os cuidados necessários com as restantes orientações. Na maioria das vezes é difícil assumir o sul absoluto, mas com esse ponto de referência, o arquiteto terá sempre tendência a desenvolver a implantação do edifício com uma preocupação afinada das possibilidades de aproveitamento da energia solar proveniente da orientação mais favorável.

Imagem 23. Solar Orientation in plant life.

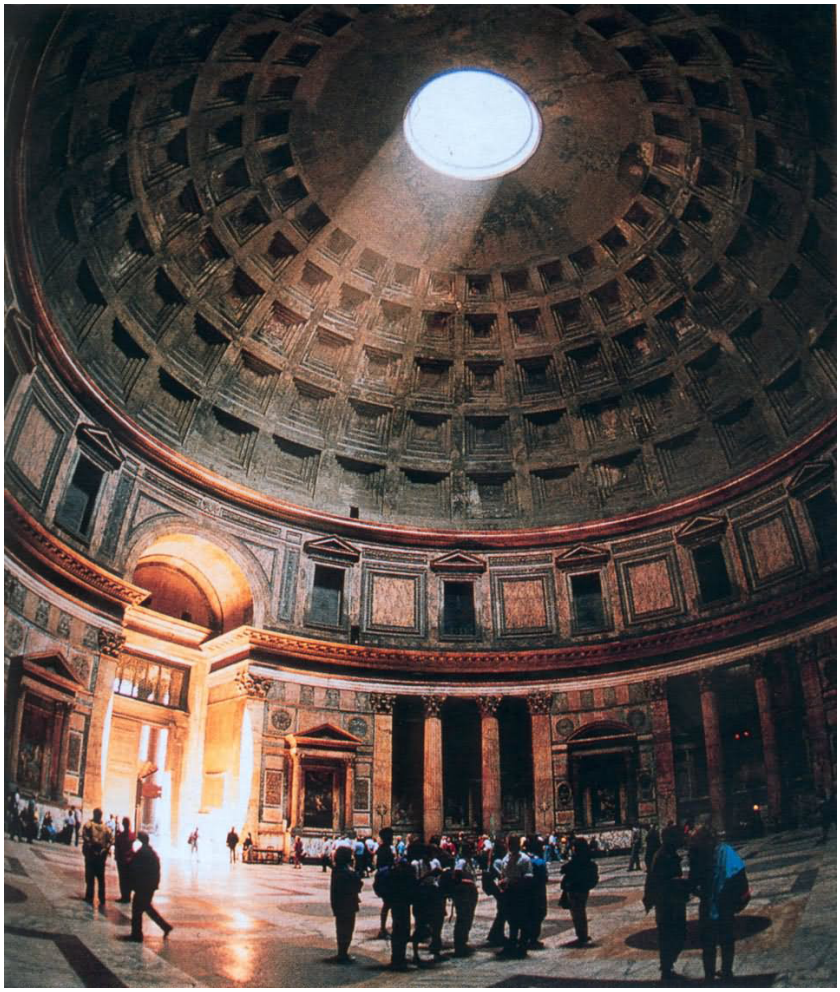


Imagem 24. A precisão da orientação solar no interior do Panteão, em Roma.

A abordagem à orientação sugerida por Olgyay passa por uma combinação de preocupações com a temperatura do ar e a radiação solar, num ato combinado que produz a sensação térmica no corpo humano[43].

Ainda assim, há que referir que o aproveitamento da energia solar, ou do calor produzido pela radiação solar depende da região ou da estação do ano.

Quando abordamos a localização de um edifício percebemos que diferentes regiões no mundo apresentam diferentes necessidades de ajustamento do ambiente para alcançar o conforto, consoante a configuração climática sobre a qual se encontra.

No nosso caso, a necessidade é aproveitar o sol para aquecimento, embora seja apenas durante a estação de inverno. Como já esclarecemos, o clima ameno como o de Portugal revela necessidades de controlo das amplitudes térmicas que se fazem sentir entre períodos de tempo curtos, do dia para a noite, e longos, entre as estações do ano, pelo que a orientação de um edifício que aproveite a energia solar para aquecimento de forma passiva pode comprometer a estação de verão se não for devidamente protegido.

"Sobre condições frias, a radiação adicional será bem-vinda e o edifício deverá posicionar-se para receber o máximo de radiação possível, enquanto que sobre condições de calor excessivo, a orientação do mesmo edifício deverá reduzir o impacto solar indesejado."[44]

O desafio maior do sistema passivo sobre uma configuração climática temperada é dominar as referidas amplitudes térmicas sobre os dois diferentes tempos de produção, a curto e a longo prazo, com a utilização de dispositivos suficientemente flexíveis para satisfazer tanto o aproveitamento da energia proveniente da radiação solar, como proteger o edifício da mesma, ambas quando necessário.

43. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 55

44. ibidem, pág. 51

Imagem 25 e 26. A flexibilidade da fachada sul. Arq. José Gigante. Projeto de reconversão de um sequeiro.

Fluxo de calor

"Assim como a água flui de uma posição mais elevada para uma posição mais baixa, também o calor flui de uma zona (ou corpo) com temperatura mais elevada para outro semelhante com uma temperatura mais baixa."[45]

45. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom. pág. 7

Os fenómenos naturais de fluxo de calor podem ainda ser aproveitados pelo arquiteto para transportar o calor e condicionar a temperatura do espaço interior conforme a necessidade, através dos elementos construtivos ou do desenho do uso do mesmo espaço. Tal fluxo pode acontecer através de três fenómenos distintos, por condução, convecção ou por radiação[46].

46. idem.

O fluxo de calor por condução acontece quando corpos em contacto expandem o movimento molecular através da temperatura presente num dos corpos, que se verifica mais elevada que o corpo seguinte. O corpo mais quente apresenta um movimento molecular com maior velocidade e pelo contacto vai desenvolver uma aceleração do movimento molecular do segundo corpo, que apresenta uma velocidade menor por se encontrar mais frio[47].

47. ibidem, pág. 8

O fluxo de calor por condução, quando aplicado ao edifício, ocorre nos seus elementos construtivos, quando esses são compostos por partículas com temperaturas diferentes que se vão influenciando entre si. Uma parede simples por exemplo, ao conter partículas mais quentes do lado interior, terá tendência a usar o calor interior para aquecer as partículas mais frias do lado exterior. Para anular tais perdas térmicas podemos recorrer ao isolamento térmico, que pelas suas caracteristicas de baixa condutibilidade, atrasa o fluxo de calor. No entanto, este fenómeno pode também ser utilizado a favor do conforto térmico do espaço interior com estratégias de inércia térmica por exemplo, na tentativa de criar ganhos térmicos favoráveis. Tal vantagem pode ser alcançada através de elementos construtivo com alta capacidade térmica, capazes de armazenar calor até ao momento em que se revele necessário dissipa-lo.

Imagem 27. Aproveitamento da inércia térmica do pavimento. Perraudin Architecture. Projeto de habitação social, Cornebarrieu, França.

Imagem 28. Aproveitamento da inércia térmica das paredes. Perraudin Architecture. Projeto de habitação social, Cornebarrieu, França.

O fluxo de calor por convecção consiste no transporte do calor de uma superfície para outra através de um fluído em movimento. Isto significa que, através de um fluído, líquido ou gasoso, se verifica uma propagação do calor, pela diferença na densidade desse mesmo fluído quando a sua temperatura é alterada. A amplitude do fluxo de calor por convecção depende da área de contacto da superfície com o fluído, da diferença de temperatura entre a superfície e o fluido e do coeficiente de convecção[48].

48. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom. pág. 10

O fluxo de calor por convecção acontece no ar que percorre o interior do edifício, que através de frinchas, terá tendência a aquecer o ar mais frio, seja este interior ou exterior. Tal situação pode dar origem a trocas térmicas indesejadas. Isto pode ser evitado através da utilização de caixilharias com qualidades de estanquidade elevada, que por sua vez, são munidas de vedantes que impossibilitam tais perdas térmicas. Sendo este o principal mecanismo da ventilação, pode também dar origem a ganhos térmicos favoráveis, consoante a necessidade. A estufa, por exemplo, pode ser uma forma muito eficaz de aproveitar o fenómeno do fluxo de calor por convecção. Ao destacar um espaço com uma exposição direta à radiação solar, o aquecimento do ar desse mesmo espaço pode ser usado para inflenciar o ar do espaço interior, quando este se verificar mais frio, através de uma comunicação física.

O fluxo de calor por radiação consiste na emissão de energia de uma determinada fonte através de ondas eletromagnéticas, sejam estas de comprimento curto ou longo. A radiação térmica é a forma como o calor se propaga no espaço através de tais ondas, como se verifica com o Sol[49]. O fluxo de calor por radiação aplicado ao edifício, consiste principalmente na ação da radiação solar, que por sua vez pode dar origem a ganhos térmicos necessários quando controlado, ou caso contrário, pode ser um fator de sobreaquecimento do espaço. Este fenómeno pode ainda ser utilizado para a produção de energia elétrica para alimentar outras necessidades.

49. ibidem, pág. 11

Imagem 29. A estufa no espaço doméstico. Arqs. Lacaton e Vassal. Cité manifeste, Habitação de interesse social em Mulhouse, França.

Imagem 30. A implantação da estratégia de utlização de paineis fotovoltaicos na reabilitação dos bairros sociais do Porto. Arq. Nuno Abrantes, Requalificação do bairro social Machado Vaz, Porto.

2.3 CLIMA

Como pudemos constatar até aqui, o clima parece ser um dos elementos terrestres com mais influência sobre o ser humano, tanto a nível biológico como cultural.

Refletir sobre o clima global é assim, um primeiro passo à compreensão de uma população global, que apesar de todas as diferenças, será sempre composta por seres humanos, que quando enfrentados com as suas necessidades mais elementares, serão sempre semelhantes. O conforto apresenta-se como um estado de equilíbrio dessas mesmas necessidades.

Mas afinal o que é clima? Como podemos definir o clima? O que por vezes pode parecer tão distante, pela especificidade científica que normalmente apresenta, a verdade é que o "tempo" é algo que nos atinge a todos, e que pode ser entendido a duas grandes escalas, uma macro e outra micro, como será possível verificar com o desenvolvimento do estudo.

Segundo Szokolay, o tempo meteorológico é a configuração atmosférica que se apresenta para um dado espaço sobre um determinado momento. O clima, por sua vez, consiste na integração das condições meteorológicas no tempo, que são características de uma determinada localização[50].

50. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 22

A Terra, com o seu raio médio de 6376 km, é rodeada por uma atmosfera que quando comparada à massa terrestre se revela muito fina, com cerca de 80 km até ao topo da mesosfera, onde a pressão desce para praticamente 0, embora ainda se encontrem alguns gases como os que compõem a própria atmosfera a 160 km.

Os primeiros 9km contêm praticamente metade da massa total da atmosfera e até aos 18 km podemos encontrar vida[51]. Todos os fenómenos climáticos acontecem dentro do referido espaço que se apresenta como uma camada fina e altamente vulnerável.

51. idem.

Ao nível global, o clima é formado principalmente pelas diferentes entradas de energia através da radiação solar, o que acaba por resultar numa emissão quase uniforme de radiação a partir da superfície terrestre.

As regiões mais próximas do equador, pelas condições que exploramos anteriormente[52], recebem uma entrada de energia muito superior às regiões próximas dos polos. Este diferencial resulta na principal força que determina os fenómenos atmosféricos como o vento, a formação e o movimento da nebulosidade, que por sua vez, servem de mecanismo de transferência de energia (calor), desde o equador até aos polos.

52. ver página 56

Szokolay indica que se tal mecanismo não existisse, a temperatura média no Pólo Norte seria de cerca de -40ºC, em vez dos -17ºC atuais, e no equador, a mesma média seria de 33ºC em vez dos 27ºC atuais[53].

53. ibidem, pág. 26

Nos pontos de maior incidência da referida energia, o ar sobe até uma zona relativamente fria e mantém-se. O movimento de tais massas de ar, quando aliadas ao movimento da nebulosidade que carrega alguma humidade, acontece principalmente devido aos referidos diferenciais de temperatura, mas é também influenciado pela força de Coriolis[54], como explica Szokolay:

54. ibidem, pág. 27

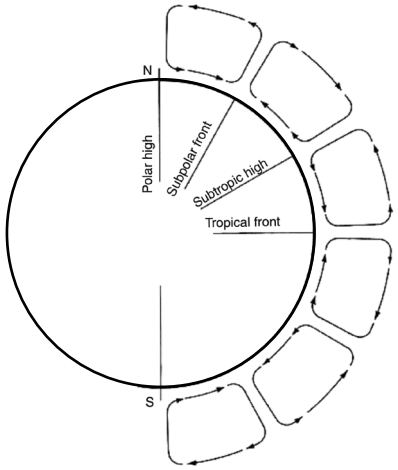


Imagem 31. The global wind pattern.

Uma massa de ar no equador move-se consoante a rotação da terra a uma certa velocidade circunferencial, o que faz com que esta tenha um momento de inércia. À medida que se move para se aproximar dos polos, a circunferência da terra (círculo de latitude) vai reduzindo, até que ultrapassa a superfície. Assim, uma massa de ar com latitude elevada terá menos velocidade e menos inércia, e à medida que se aproxima da latitude do equador começa a revelar um atraso em relação à velocidade de rotação da Terra, o que, segundo Szokolay, resulta no mecanismo de troca de ventos N/E e SE[55].

55. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 27

A atmosfera em si, é um sistema tridimensional que não apresenta grande estabilidade, visto que a mais pequena diferença no aquecimento local de uma zona, causada pela topografia ou pela capacidade de absorção do pavimento, pode ter consequências significativas no movimento do ar, transformando os padrões de zonas de alta e baixa pressão. Por outro lado, a entrada de energia proveniente da radiação solar no sistema terrestre consiste numa taxa de cerca de 170×10^{12} kW, e o equilíbrio é mantido quando a emissão de energia atinge uma taxa equivalente á taxa de fluxo de calor recebido[56].

56. ibidem, pág. 28

A emissão de calor por parte da superfície terrestre é determinada pela temperatura da superfície e pela transparência ótica da atmosfera, que por sua vez, é elevada para ondas curtas de radiação solar, mas muito reduzida para ondas infravermelhas longas, como as que são emitidas pela superfície terrestre.

A crescente presença atmosférica de CO_2, ou de outros GEE, agrava os referidos níveis de transparência, já muito reduzidos, para as ondas infravermelhas longas. Por este motivo, e para tentar restabelecer o equilíbrio, a temperatura da superfície da Terra tende a aumentar. Este fenómeno é referido como o efeito estufa, que é hoje considerado como a causa do aquecimento global.

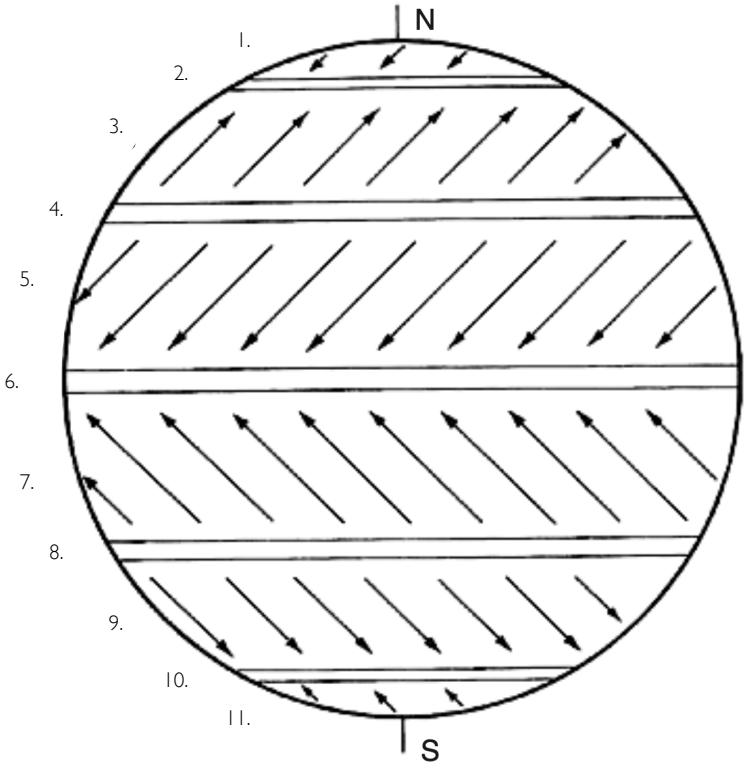


Imagem 32. The global wind pattern.
1. Polar winds
2. Subpolar front
3. Westerlies
4. Subtropic high
5. N/E Trade winds
6. Tropical front
7. S/E Trade winds
8. Subtropic high
9. Westerlies
10. Subpolar front
11. Polar winds

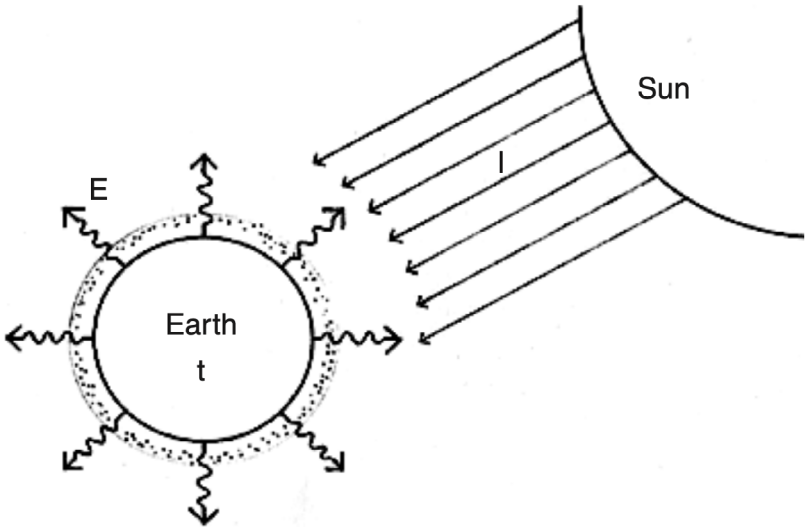


Imagem 33. The Earth's heat balance: causes of the greenhouse effect.

2.3.1 Classificação de climas

As diferentes configurações climáticas, desde há muito tempo que têm sido alvo de tentativas de categorização, consoante o propósito. Sobre a abordagem arquitetónica, encontramos vários autores como Szokolay, Olgyay ou Rafael Serra a recorrerem ao sistema promovido por Atkinson, em 1954, que distingue apenas 4 tipos básicos de configurações climáticas com base na latitude e na continentalidade.

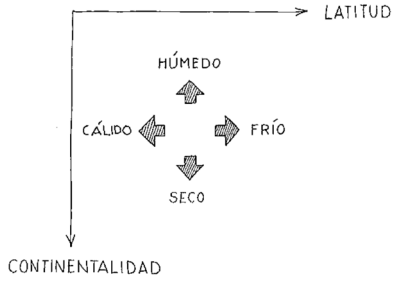


Imagem 34. Classificação de climas.

De acordo com Szokolay, que também assume a fonte do modelo, tal sistema tem como base o problema da relação entre a térmica e o Homem numa localização particular[57], e as quatro configurações climáticas são[58]:

- Climas quentes e secos, onde o principal problema é o sobreaquecimento, sendo o ar seco, o que faz com que o mecanismo humano de arrefecimento por evaporação não seja restringido. Neste tipo de clima existe, normalmente, uma amplitude térmica diária significativa.
- Climas quentes e húmidos, onde o sobreaquecimento não se revela um problema tão significativo como nas zonas secas, mas ainda assim é agravado pela forte presença de grandes níveis de humidade, o que dificulta o mecanismo humano de arrefecimento por evaporação. Contudo, neste tipo de clima a amplitude térmica diária não tem grande impacto.
- Climas frios, onde o principal problema é a falta de calor (sobrearrefecimento), ou a excessiva dissipação do calor durante a maior parte do ano.
- Climas temperados, onde existe uma diferença sazonal entre sobreaquecimento e sobrearrefecimento, sem consequências severas.

57. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 33

58. ibidem, pág 34

Segundo Rafael Serra, os edifícios são "*barreiras à chuva, ao vento, e às vezes, filtros subtis à luz e ao calor. Rodeados de envolventes variáveis, onde troca o dia e a noite, o calor e o frio, o vento e a calma, a chuva e o sol; convertem-se em refúgios de condições artificiais, como ilhas de tranquilidade num mundo incómodo.*"[59]

59. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág.7

A arquitetura que se quer relacionar com o clima, deve ter em conta que existem diferentes configurações climáticas que afastam as soluções de arquitetura bioclimática. Este pode ser um conceito difícil de dominar devido à complexidade das configurações climáticas que encontramos nas diferentes regiões do mundo.

Contudo, de forma a simplificar a abordagem, consideramos quatro parâmetros fundamentais, já esclarecidos, para a definição da configuração climática sobre a qual vamos trabalhar: a temperatura, a radiação, a humidade e o movimento do ar. Estes elementos são usados desde há muito tempo, e sobre os mesmos, desenvolveram-se as mais variadas soluções bioclimáticas, desde a mais elementar, como veremos nas próximas páginas, à mais elaborada. Ainda assim, há que ter em consideração todos os fenómenos ambientais que possam causar variações na configuração climática de uma determinada região, assim como a sensibilidade humana, que por sua vez pode influenciar a sensação da mesma.

A arquitetura vernacular, segundo Francisco Moita, é um vasto portfólio de conhecimento sobre a relação entre a mesma e o clima. Nas soluções típicas de determinadas regiões com especificidades climáticas próprias encontramos a matéria que nos dá a conhecer, ainda hoje, a forma como os princípios formais e materiais da termodinâmica podem ser manipulados a favor de um conforto térmico, que para além de existir por necessidade, pode existir também por boa prática arquitetónica, numa representação fiel e orgulhosa de uma determinada região, na sua mais intima relação com o lugar.

Nas regiões quentes e secas, as temperaturas apresentam-se muito elevadas durante o dia, e descem drasticamente durante a noite, revelando uma amplitude térmica com um intervalo muito alargado. São regiões com altos níveis de insolação e níveis quase nulos de precipitação e nebulosidade, o que faz com que predomine a radiação solar direta, onde a diferença entre a exposição e a sombra são fatores cruciais[60].

60. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas*. 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág.7

Estás regiões localizam-se maioritariamente em zonas continentais próximas ao equador, onde, segundo Rafael Serra, a arquitetura popular é compacta, com paredes espessas e aberturas escassas[61].

61. idem.

Por vezes estas construções são até subterrâneas, de forma a aproveitar a inércia térmica do terreno contra as amplitudes térmicas diárias do exterior, mas principalmente, onde se verifica o recurso ao pátio na tentativa de criar um espaço protegido do sol, húmido e fresco através da presença da água[62].

62. ibidem, pág. 8

Um bom exemplo deste arquétipo localiza-se em Matmata, na Tunísia[63]. As casas pátio desta zona são escavadas no terreno e comunicam com o referido pátio, que por sua vez contém um poço de água, através de pequenas aberturas. Esta engenhosa solução de posicionamento dos espaços domésticos diminui também a exposição aos ventos dominantes, que por sua vez arrastam areias e poeira indesejada[64].

63. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 71

64. idem.

A ausência de paredes exteriores protege este tipo de habitação da radiação solar excessiva, e consequentemente, o contato direto com o terreno ajuda a manter os níveis de conforto necessários numa configuração climática tão rigorosa através da inércia térmica do mesmo, que por sua vez ajuda a aquecer o espaço durante a noite, quando as temperaturas são muito baixas, e a arrefecer o mesmo espaço durante o dia, preservando uma temperatura constante e agradável.

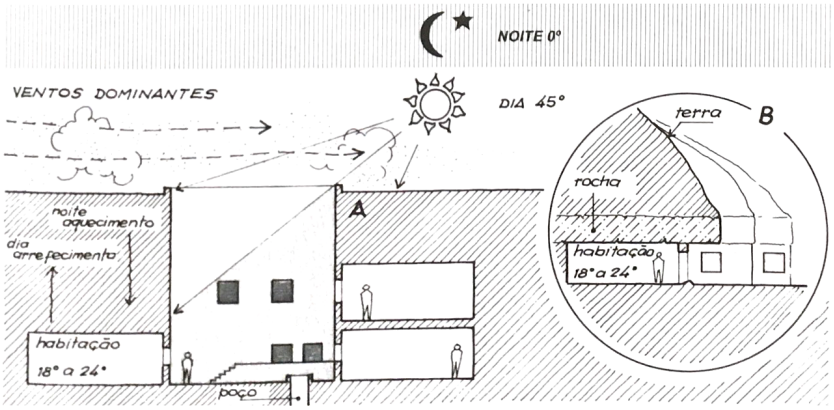
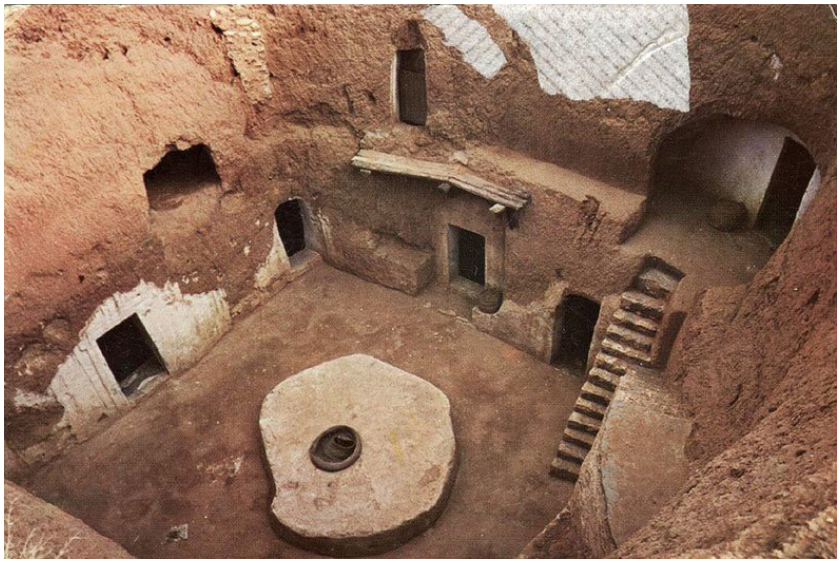


Imagem 35. Nota Histórica IV.



Imagens 36 e 37. Casas--Pátio em Matmata, Tunísia - Vista exterior e vista do pátio.

Nas regiões quentes e húmidas, embora a temperatura tenha tendência a ser elevada, é mais constante e moderada quando comparada às regiões quentes e secas. A precipitação e nebulosidade são frequentes, o que faz com o nível de humidade seja sempre elevado e que a radiação proveniente da insolação seja mais difusa[65].

65. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas*. 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 8

Este tipo de configuração climática localiza-se principalmente nas zonas subtropicais marítimas onde, segundo o mesmo autor, a arquitetura popular é mais ligeira[66].

66. idem.

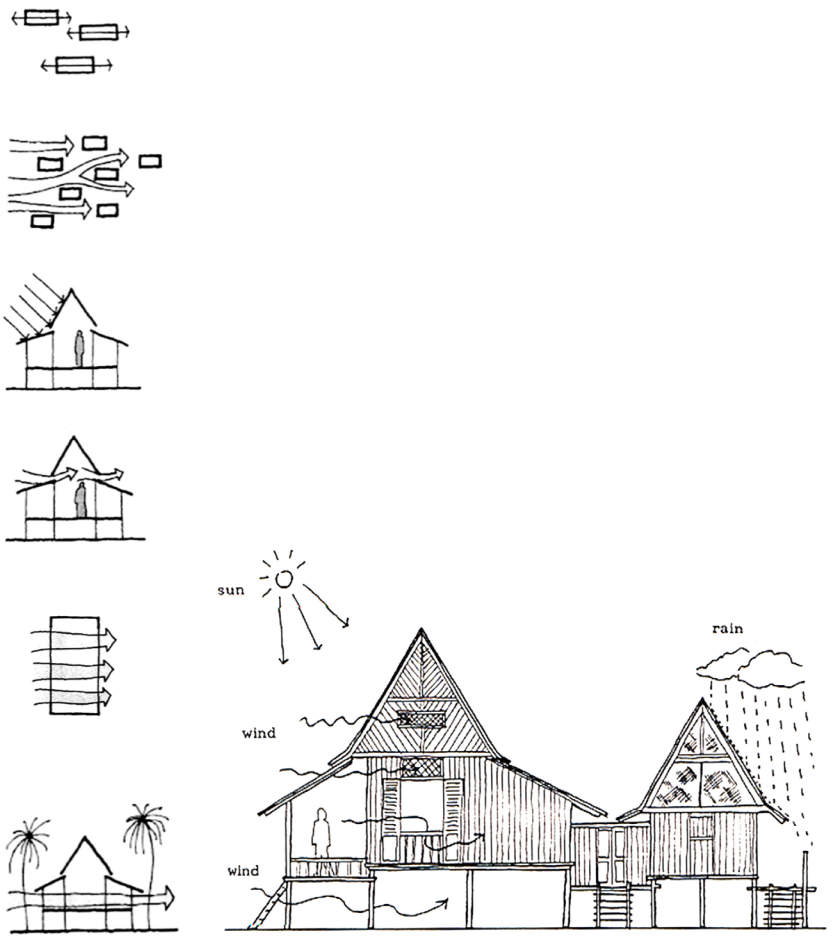
É uma arquitetura muito ventilada, protegida da radiação sobre qualquer orientação, e desprovida de inércia térmica. São construções estreitas e soltas, entre si e em relação ao solo para aproveitar melhor as correntes de ar.

As paredes são anuladas ao máximo, ao ponto de desprezar a privacidade em função da ventilação. As coberturas, por sua vez, são altas, inclinadas e com beirais muito projetados, para proteger a fenestração do edifício da exposição solar.

Exemplo deste tipo de solução são as "Malay House", na Malásia. Estes arquétipos de arquitetura vernacular ilustram os princípios enunciados com uma cota de piso elevada do solo, e com estruturas urbanas aleatórias, na tentativa de aproveitamento máximo do movimento natural do ar.

Uma vez que este tipo de solução não se dedica ao aproveitamento da radiação solar direta, solta a necessidade de uma orientação afinada e orienta-se segundo simbolismos religiosos.

Podemos ainda verificar que estas soluções são construídas com materiais muito leves e pouco espessos, com grandes aberturas, na tentativa de potenciar a ventilação, e beirais pronunciados, com o objetivo de proteção solar.



Imagens 38 e 39. Malay House, Malásia - Esquemas e corte conceptual.

Imagens 40. Malay House, Malásia - Vista exterior.

Nas regiões frias, a temperatura é baixa todo o ano, com uma variação desfavorável no inverno. A radiação é escassa e a precipitação ocorre frequentemente em estado sólido[67]. Nestas regiões, por força dos níveis reduzidos de temperatura, a humidade surge em segundo plano e por isso não se distinguem as zonas secas ou zonas húmidas, ainda que a proximidade marítima destas regiões tenha uma influência significativa nas oscilações térmicas, e na própria configuração microclimática[68]. Estas regiões situam-se naturalmente em zonas de latitude elevada, ou polares. Nestas, o princípio climático mais importante passa pela preservação do calor no interior das edificações.

67. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas*. 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 9

68. idem.

Segundo Rafael Serra, a arquitetura popular neste tipo de configuração climática tende a ser compacta, isolada e com pequenas aberturas que possam pôr em causa a preservação do calor[69]. De certo modo, é possível verificar que estas características se assemelham às características da arquitetura das regiões quentes e secas, e isso acontece porque em ambos os cenários, a atitude do projeto passa não pela proteção mais sim pela defesa contra as condições exteriores.

69. ibidem, pág. 8

O exemplo mais conhecido deste arquétipo é o igloo dos Esquimós. Logo desde a forma, que se apresenta como uma calote esférica (que segundo Francisco Moita revela a relação ideal entre volume habitável e superfície exposta[70]), mostra o cuidado, proveniente da necessidade, da relação entre a arquitetura e o clima[71]. O material utilizado nestas construções é a neve ou o gelo, que por sua vez se revelam como ótimos isolantes térmicos, uma vez que o principal objetivo é evitar as perdas térmicas para o exterior, do calor produzido no interior através de dispositivos de aquecimento rudimentares, e do próprio corpo humano. Todas as aberturas e acessos, orientados contrariamente aos ventos dominantes, servem de zonas tampão, intermediárias à diferença térmica entre o espaço exterior e o interior[72].

70. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 40

71. ibidem, pág. 33

72. idem.

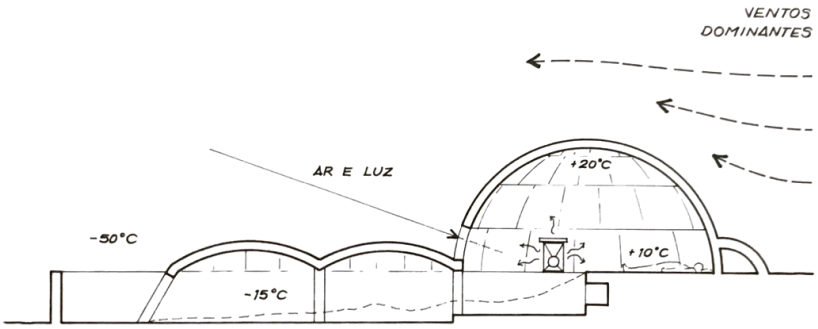


Imagem 41. Nota Histórica II.

Imagens 42. Construção de um Igloo.

Imagens 43. Vista exterior de um Igloo.

O clima temperado, por sua vez, ao apresentar variações constantes desde o ponto de vista diário ao anual, revela-se como a configuração climática mais desafiante ao exercício dos princípios bioclimáticos na arquitetura.

Por este motivo, a arquitetura típica deste tipo de clima acaba por ser a mais completa a nível de soluções arquitetónicas e construtivas, na medida em que tem que se adaptar consoante as necessidades de aquecimento ou de arrefecimento de um determinado período de tempo, seja este a longo prazo como no caso das estações do ano ou a curto prazo devido às amplitudes térmicas entre o dia e a noite.

Rafael Serra descreve o problema da seguinte forma:

"Assim, o problema básico deste tipo de clima não é a sua dureza, mas sim o fenómeno de que, quase em qualquer período do ano e hora do dia, podem apresentar-se condições de sentido contrário: o problema do frio no inverno, que pode ser seco ou húmido (distinção que neste caso é importante); o problema do calor no verão, que também pode ser seco ou húmido e quase tão intenso como em outros climas de extremo, ainda que os períodos de tempo são sempre mais curtos, e, finalmente, o problema do clima variável que, nas estações intermédias, pode apresentar problemas de frio ou de calor separados por curtos espaços de tempo."[73]

73. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas*. 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 9

É por este motivo que a arquitetura vernacular em climas temperados, como é exemplo o caso do clima mediterrâneo, sempre se viu obrigada a utilizar sistemas flexíveis que adaptam facilmente a sua intervenção segundo a circunstância climática. Na verdade, este acaba por ser um projeto de arquitetura tão rígido como flexível, que se prende para aproveitar a energia solar consoante a posição favorável em relação ao sol, como támbem projeta elementos que o protegem do mesmo.

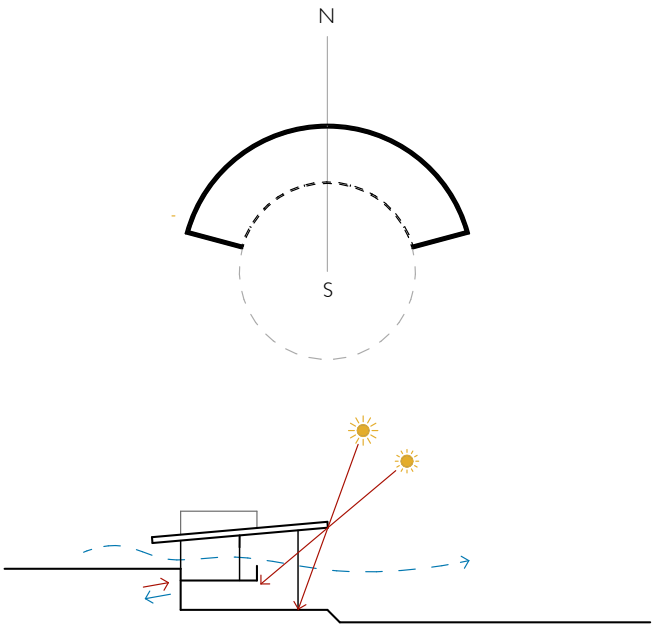


Imagem 44. Esquema Solar Hemicycle (Jacobs House II), arq. Frank Lloyd Wright

Imagem 45. Front Facade.

Foi na Grécia Antiga, com Sócrates (469-399 a.C.) que a arquitetura bioclimática típica de climas temperados começa a ser explorada, experimentada e registada, com o objetivo de atingir o conforto térmico através de estratégias que, de forma passiva, regulam a temperatura do interior do edifício durante todo o ano.

O historiador grego Xenophon promoveu, junto dos arquitetos da Grécia Antiga, as estratégias concluídas a partir de uma discussão com Sócrates, em que, a partir do modelo tradicional de Megaron se desenvolve um Megaron solar. Este modelo, a partir da orientação, aproveita o sol de inverno e protege-se do sol de verão, numa região do hemisfério Norte de clima temperado como seria a Grécia Antiga.

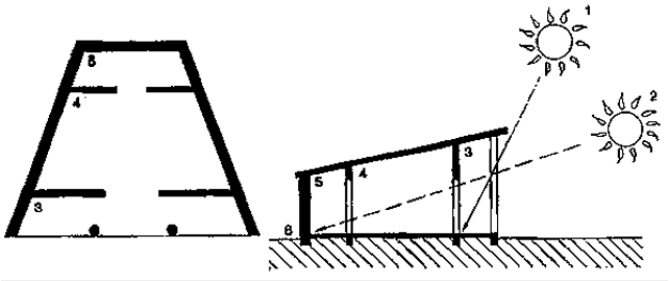
O Megaron de Sócrates aparece então como registo do primeiro modelo que tenta desenvolver as práticas tradicionais de forma a adaptar a arquitetura ao clima em que esta está inserida[74].

74. WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos.* 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág. 7

Através da forma trapezoidal em planta, o edifício tenta otimizar a exposição a sul, de forma a aproveitar a radiação solar para aquecimento e consequentemente reduzir a extensão da fachada Norte que por sua vez nunca seria exposta à radiação solar. Altimetricamente, esta solução é ainda otimizada com a pendente descendente para Norte da cobertura, que não só reduz a superfície da mesma fachada como tenta controlar o movimento do vento proveniente do Norte, o que ainda permite a ventilação natural do espaço.

Assim, tanto em planta como em corte, é possível verificar que este modelo tenta reduzir a superfície a norte, menor e mais fria, pelo arrefecimento que esta pode causar, e aumentar a superfície exposta a sul, maior e mais quente, onde o sol é uma ferramenta muito útil para o controlo térmico do espaço interior. Como podemos verificar, Frank Lloyd Wright faz o mesmo séculos mais tarde.

Na tentativa de evitar o sobreaquecimento, a cobertura, seria estrategicamente projetada para proteger o espaço interior da radiação solar do verão, enquanto que para evitar o sobrearrefecimento, a parede mais a norte deveria oferecer alguma resistência térmica e seria acompanhada por um compartimento de serviço (como uma dispensa) que serviria de amortecedor térmico para a orientação mais fria.



Imagens 46. Esquema do modelo de Megaron de Sócrates.

Os romanos também deixaram um contributo importante à relação entre arquitetura e clima, uma vez que demonstravam uma preocupação afinada pela localização geográfica das suas construções. Exemplo disso é a tipica casa-pátio, onde o sol é dominado através da fenestração e de sombreadores devidamente dimensionados, sem aberturas a norte e com a fachada sul coberta por trepadeiras de folha caduca (outro sistema de controlo solar). Para os dias quentes, a fonte localizada no pátio providenciava o arrefecimento do espaço por evaporação[75]. O objetivo seria diminuir as amplitudes térmicas, típicas do clima temperado, o que promove um ambiente mais confortável.

75. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 17

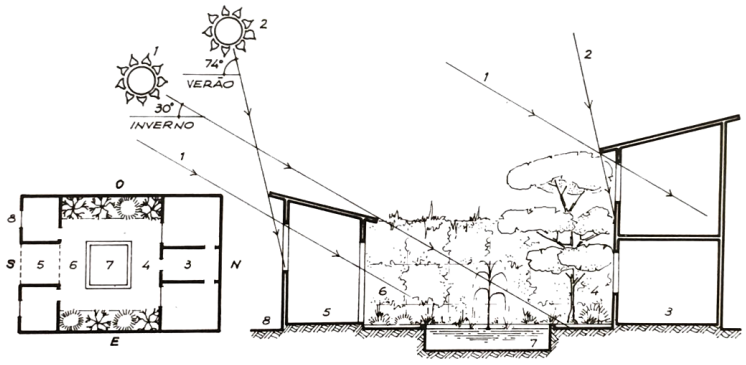


Imagem 47. Nota Histórica I.

2.3.2 Definição climática

Um sistema de aproveitamento solar de forma passiva, quando aplicado ao edifício, distingue-se de um sistema ativo, na medida em que faz um aproveitamento da radiação solar, ao captar e transmitir energia térmica, de forma natural, por condução, convecção e radiação, até aos espaços interiores, enquanto o referido sistema ativo se apoia em meios artificiais mecânicos.

Tal sistema, ao ser passivo, garante os índices de conforto sem a necessidade de contributos energéticos exteriores de manutenção, o que por sua vez, garante a sustentabilidade de uma arquitetura termicamente confortável não só no presente, como também no futuro.

Como explica Francisco Moita, a abordagem arquitetónica às questões climáticas e de conforto térmico no desenho do edifício, não podem basear-se apenas no isolamento eficaz da envolvente exterior do edifício, ou na utilização de caixilharia dupla como tantas vezes é entendida[76].

76. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 14

Se a estratégia consistir na utilização da energia solar de forma passiva, há que ter em conta muitas outras questões que se desenvolvem desde a escala da implantação, como a localização ou a orientação, até ao detalhe construtivo da caixilharia ou dos dispositivos de controlo solar.

A legislação, por sua vez, acaba por ser a forma mais eficaz de contribuir para que os edifícios adotem alguns dos princípios fundamentais à eficiência energética e ao conforto ambiental. Dependendo do país, consoante a necessidade, a legislação referente à térmica prevê um número determinado de critérios indispensáveis ao licenciamento dos projetos. No caso de Portugal, a integração dos princípios climáticos revela-se ainda muito elementar. Embora a utilização de isolamento térmico se tenha democratizado com o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento

Térmico dos Edifícios), e este ainda imponha alguns critérios em relação à fenestração e à presença de pontes térmicas, muitos outros princípios da construção com uma integração climática ficam ao critério do projetista, que nem sempre tem sensibilidade suficiente para os considerar desde o estudo prévio.

Com estudos contemporâneos que o comprovam, podemos apontar que se passa mais frio no interior dos edifícios durante o período de inverno em Portugal, que nos países com invernos muito mais rigorosos como a Suécia. Percebe-se perfeitamente que pela necessidade dos países mais frios, a legislação se veja forçada a intervir de forma mais rigorosa para atenuar os efeitos do frio, mas onde o clima é mais favorável, como o nosso, considerado temperado, não devemos deixar em segundo plano uma questão de saúde pública quando as estatísticas apresentam elevadas percentagens de doenças relacionadas com o frio[77] pela má qualidade das construções e pela pobreza energética da população.

77. idem.

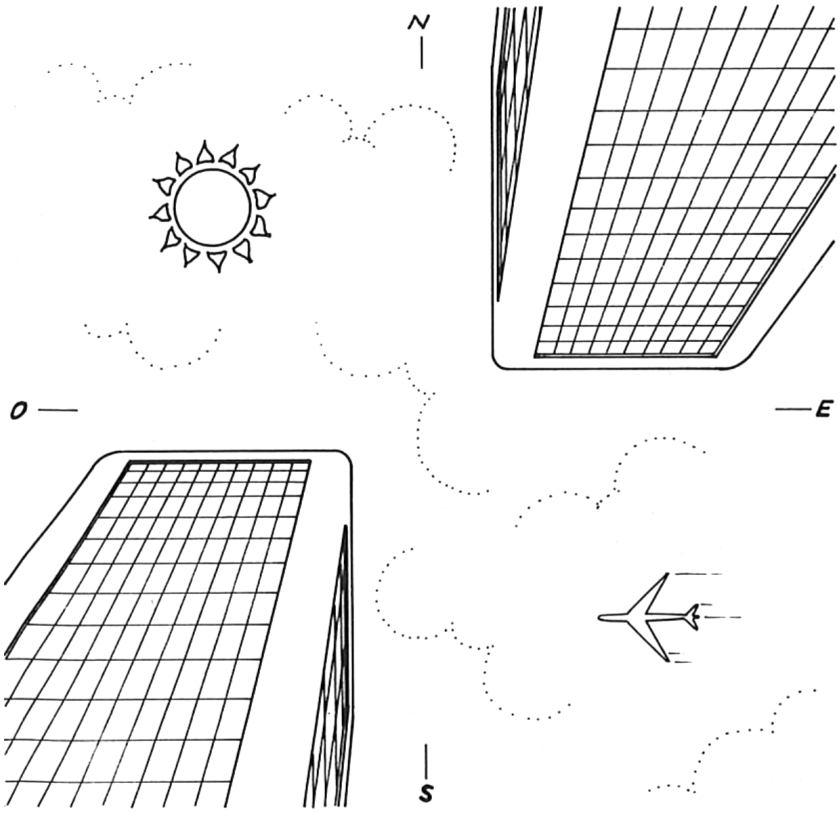


Imagem 48. Duas modernas torres de vidro e de betão!...
-...na Islândia (70° lat. N.)
-... em Portugal (40° lat. N.)
- ou no Equador? (0° lat.)

Com uma certa semelhança na abordagem com o sistema de classificação de Atkinson[78], o sistema Köppen-Geiger, publicado pela primeira vez em 1900, e desenvolvido continuamente até 1940 pelo primeiro autor, é o modelo mais utilizado na classificação das configurações climáticas ao nível global, pela disciplina da climatologia, no ramo científico da meteorologia. O sistema de classificação Köppen-Geiger apresenta, por sua vez, cinco grandes grupos de configurações climáticas, baseados na relação entre localização, temperatura e precipitação[79].

Este sistema de classificação climática pode ser explorado no anexo D deste estudo, que por sua vez esclarece as características das cinco regiões assim como dos seus sub-tipos, com uma consideração especial pelos sub-tipos da configuração climática C, temperada, correspondente ao caso nacional.

Uma vez que os referidos elementos relacionados demonstram uma poderosa influência na resposta da arquitetura aos problemas do conforto térmico numa determinada localização, este parece ser o sistema mais afinado para se compreender as necessidades especificas de cada região.

Antes de iniciar a temática da configuração climática nacional é necessário abordar as zonas climáticas da Península Ibérica, visto que Portugal, não sendo um país isolado, recebe, a poente, uma influência marítima e, a nascente, uma influência continental, tal como acontece na vizinha Espanha, de forma inversa. Desse modo, a Península Ibérica apresenta três divisões climáticas gerais que se moldam ao longo dos dois países: a zona atlântica, com temperaturas amenas e precipitação significativa no inverno; a zona continental, com verões bastante quentes e invernos frios; e a zona mediterrânica, com verões secos e quentes e invernos suaves. Para além da proximidade a superfícies aquáticas, fatores como a altitude e os ventos dominantes reforçam a referida divisão.[80]

78. ver página 70

79. ARNFIELD, A. John. *Köppen climate classification.* Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major-climatic-types

80. Instituto de Meteorologia (2011). *Atlas Climático Ibérico.* Acedido em: 11, 06, 2020, em: http://www.ipma.pt/resources.www/docs_pontuais/ocorrencias/2011/atlas_clima_iberico.pdf

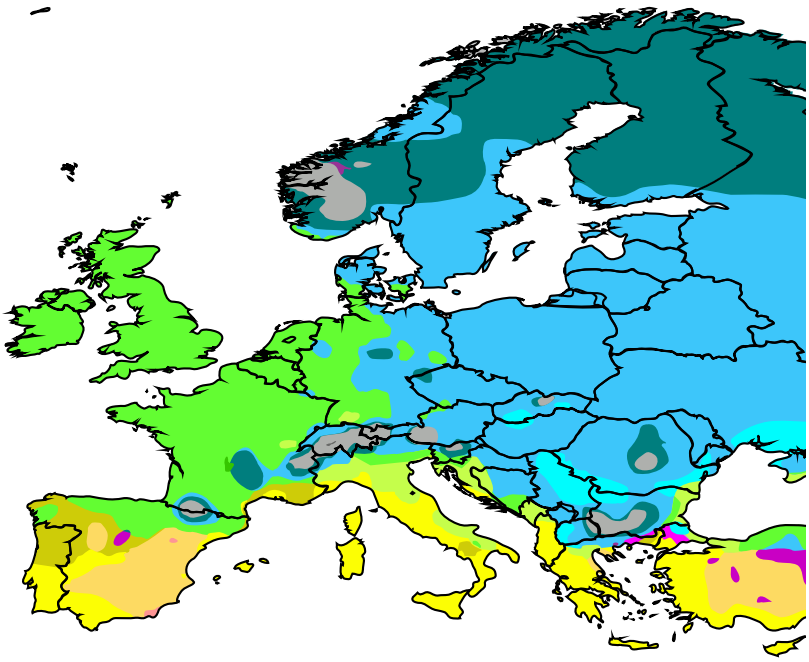


Imagem 49. Classificação climática da Europa, segundo o sistema de Köppen-Geiger.

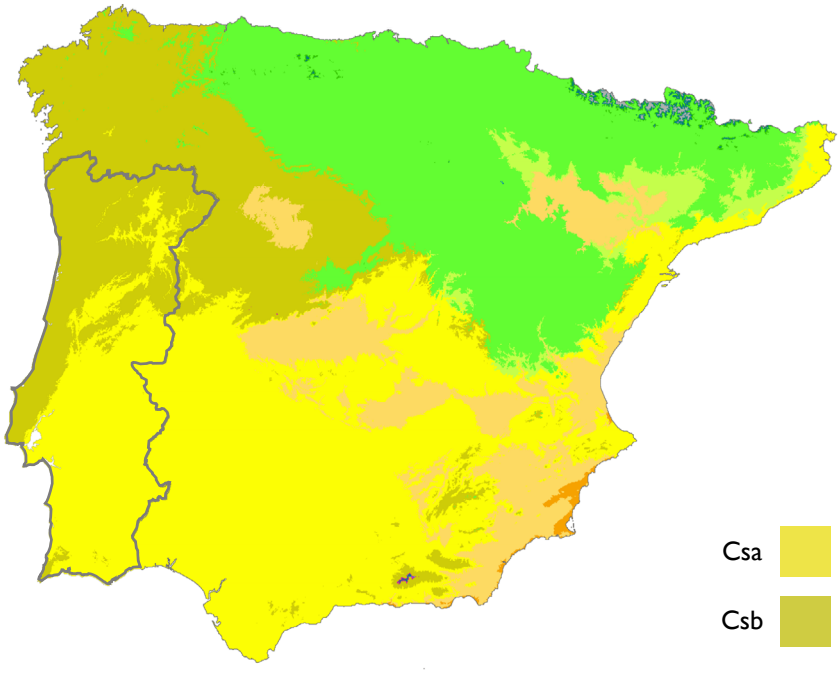


Imagem 50. Classificação climática da Peninsula Ibérica segundo a classificação Köppen-Geiger.

Para a Organização Meteorológica Mundial, as normas climatológicas são aquelas que são compostas por apuramentos estatísticos em períodos de 30 anos, com início no primeiro ano, a cada três décadas. O Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), cujos dados meteorológicos remontam a 1865, segundo os valores médios mais recentes, caracteriza o clima nacional como um clima temperado (tipo C), com as subclassificações Csa e Csb do sistema de classificação climática Köppen-Geiger[81], sendo que:

Csa – Clima mediterrânico com verão seco e quente. O mês mais quente tem temperatura média superior a 22ºC. Pelo menos quatro meses com temperaturas médias acima de 10ºC e pelo menos três vezes mais precipitação durante os meses de inverno mais húmidos do que no mês de verão mais seco.

Csb – Clima mediterrânico com verão frio e seco. Nenhum dos meses mais quentes com temperatura média superior a 22ºC. Pelo menos quatro meses com temperaturas médias acima de 10ºC e pelo menos três vezes mais precipitação durante os meses de inverno mais húmidos do que no mês de verão mais seco.

O subtipo Csa, que se caracteriza por um verão quente e seco, predomina nas regiões a sul do sistema montanhoso Montejunto-Estrela, com exceção do litoral oeste do Alentejo e do Algarve, assim como na região norte interior do vale do Douro, com uma grande predominância em parte do distrito de Bragança. O subtipo Csb, por sua vez caracterizado por um verão frio e seco, predomina em quase todas as regiões a norte do mesmo sistema montanhoso, assim como nas regiões do litoral oeste do Alentejo e do Algarve[82].

Ao nível interno, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) desenvolve ainda uma divisão climática por estação de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão), que pode ser consultada no anexo E.

81. IPMA, *Normas Climatológicas*. Acedido em: 11, 06, 2020, em: https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true

82. idem.

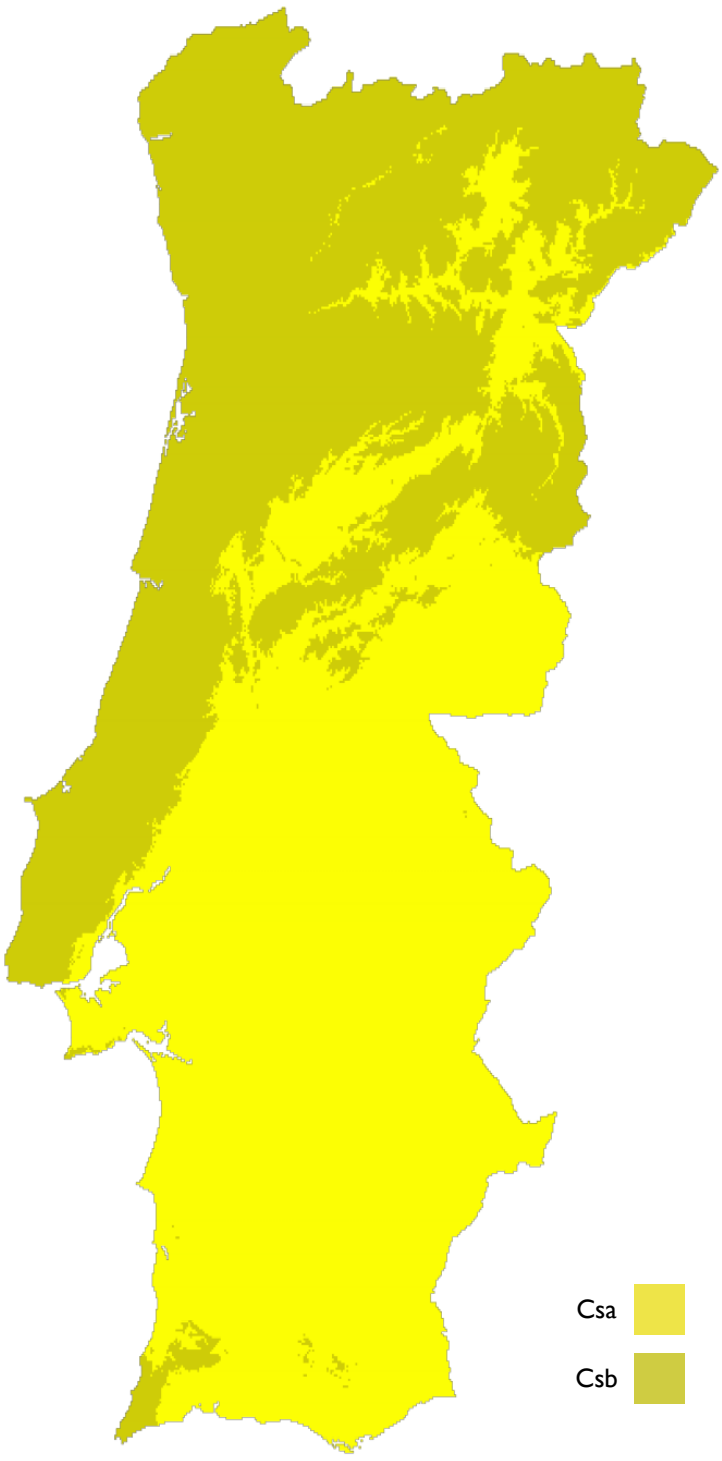


Imagem 51. Classificação climática de Portugal segundo a classificação de Köppen-Geiger.

Elementos climáticos

Os principais elementos climáticos que servem às organizações meteorológicas na previsão do tempo através de modelos e que podem ajudar o arquiteto a dar o passo seguinte na caracterização de um determinado clima mais aproximado do lugar de implantação do edifício a desenhar são os seguintes:

- Temperatura;
- Humidade;
- Movimento do ar;
- Precipitação;
- Nebulosidade;
- Duração do dia;
- Radiação solar.

Ainda assim, na abordagem que se pretende para este estudo, se segundo Szokolay, as quatro variáveis ambientais que afetam diretamente o conforto térmico são a temperatura, a humidade, a radiação e o movimento do ar[83], então são precisamente estas as condicionantes climáticas mais importantes ao desenho do arquiteto.

83. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 28

O desafio da abordagem arquitetónica com uma consciência climática reside no domínio dos dados climáticos em função do desenho de um edifício. Szokolay alerta para a necessidade de encontrar um equilíbrio da informação necessária ao desenvolvimento do projeto.

O autor alerta que não será favorável desenvolver os dados climáticos em demasia, pois torna-se difícil controlar tanta informação, visto que, por exemplo, só na vertente da temperatura, se quisermos dominar os dados com detalhe teríamos que analisar temperaturas horárias durante um ano inteiro, o que resultaria em 8760 dados (24h x 365 dias). Contudo, a simplificação exagerada da informação climática pode ser igualmente prejudicial ao desenho, como assumir uma temperatura media anual[84].

84. ibidem, pág. 29

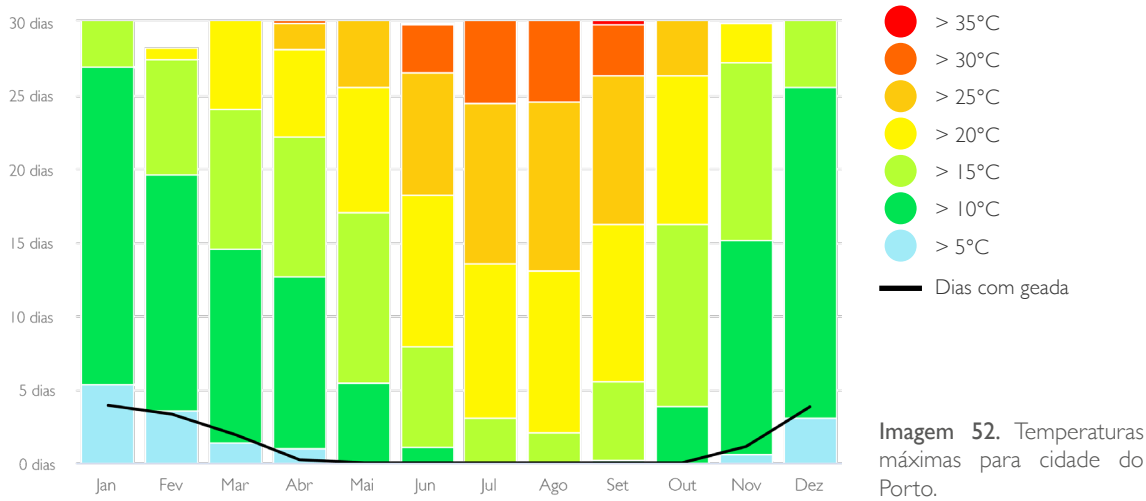


Imagem 52. Temperaturas máximas para cidade do Porto.

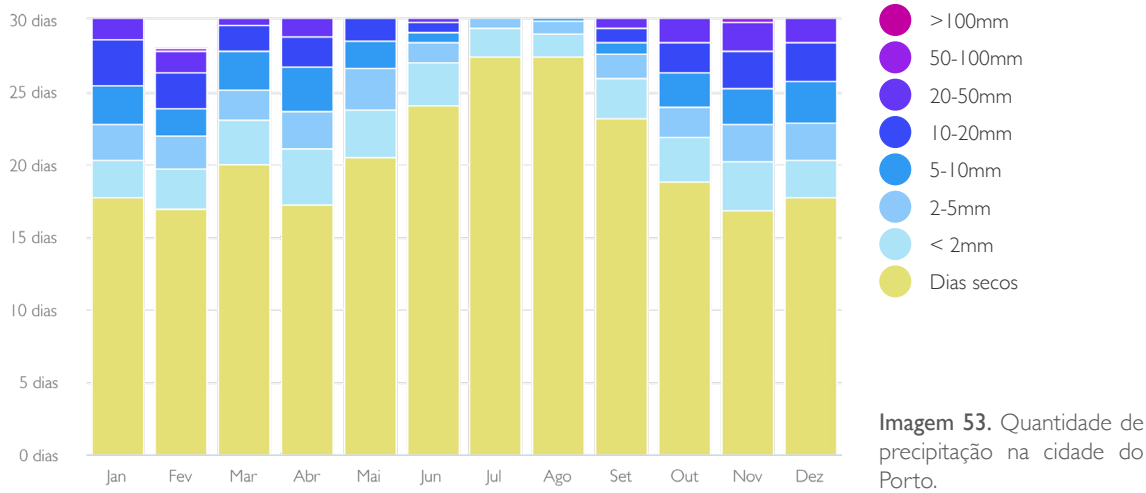


Imagem 53. Quantidade de precipitação na cidade do Porto.

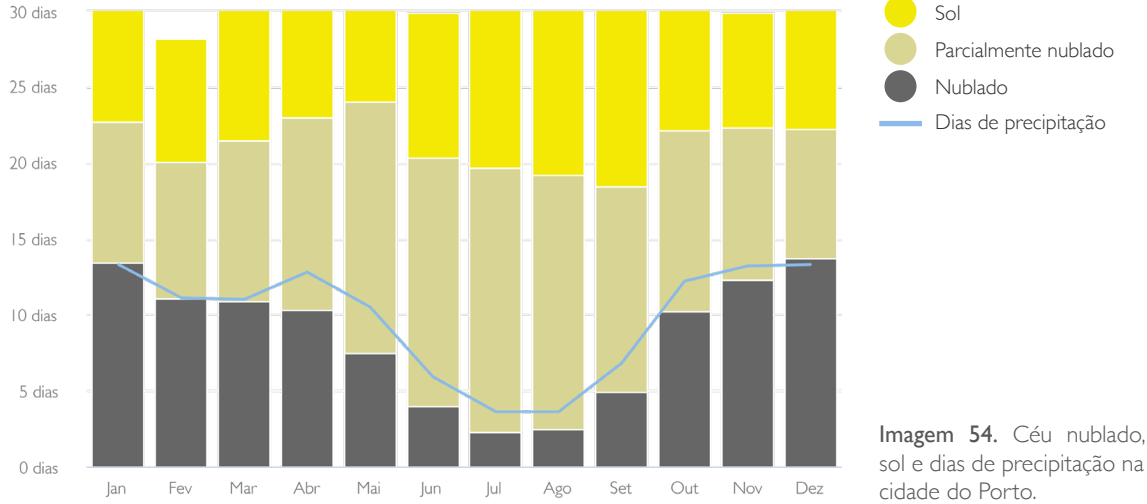


Imagem 54. Céu nublado, sol e dias de precipitação na cidade do Porto.

Na perspetiva do arquiteto, que não tem obrigatoriedade em ser ser um especialista na disciplina da térmica, a afinação de uma base controlada de compreensão do clima que envolve o lugar de implantação é suficiente para desenvolver um projeto de arquitetura bioclimática, na medida em que necessariamente apresentará os princípios fundamentais na procura pelo conforto térmico e pelo conforto em geral.

Szokolay sugere o nível de detalhe que pode ajudar o arquiteto a dominar tal informação, numa perspetiva que consideramos válida e suficiente se considerar também o movimento do ar, para o desenvolvimento do projeto de arquitetura com consciência climática, a menos que se trate de uma avaliação muito rigorosa de uma qualquer proposta[85]. Devem então ser considerados as seguintes variáveis:

85. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 29

- Temperatura, com o auxílio do termómetro de bulbo seco, medida à sombra, de forma a estar protegido de precipitação e da radiação solar, dentro de uma caixa ventilada (conhecida como Stevenson Screen), e cerca de 1,2m a 1,8m acima do solo[86].

86. ibidem, pág. 28

- Média de máximas diárias (ºC)
    - Desvio padrão da sua distribuição (K)
- Média de mínimas diárias (ºC)
    - Desvio padrão da sua distribuição (K)

- Humidade, com o auxílio do termómetro de bulbo seco e de bulbo molhado (presentes num psicrómetro), que pode ser representada pela humidade relativa ou pela humidade absoluta, ou ainda pela temperatura do termómetro de bulbo molhado, sobre o qual se pode identificar o ponto de temperatura de orvalho[87].

87. idem.

- Humidade relativa pelo início da manhã (%)
- Humidade relativa pelo fim da tarde (%)

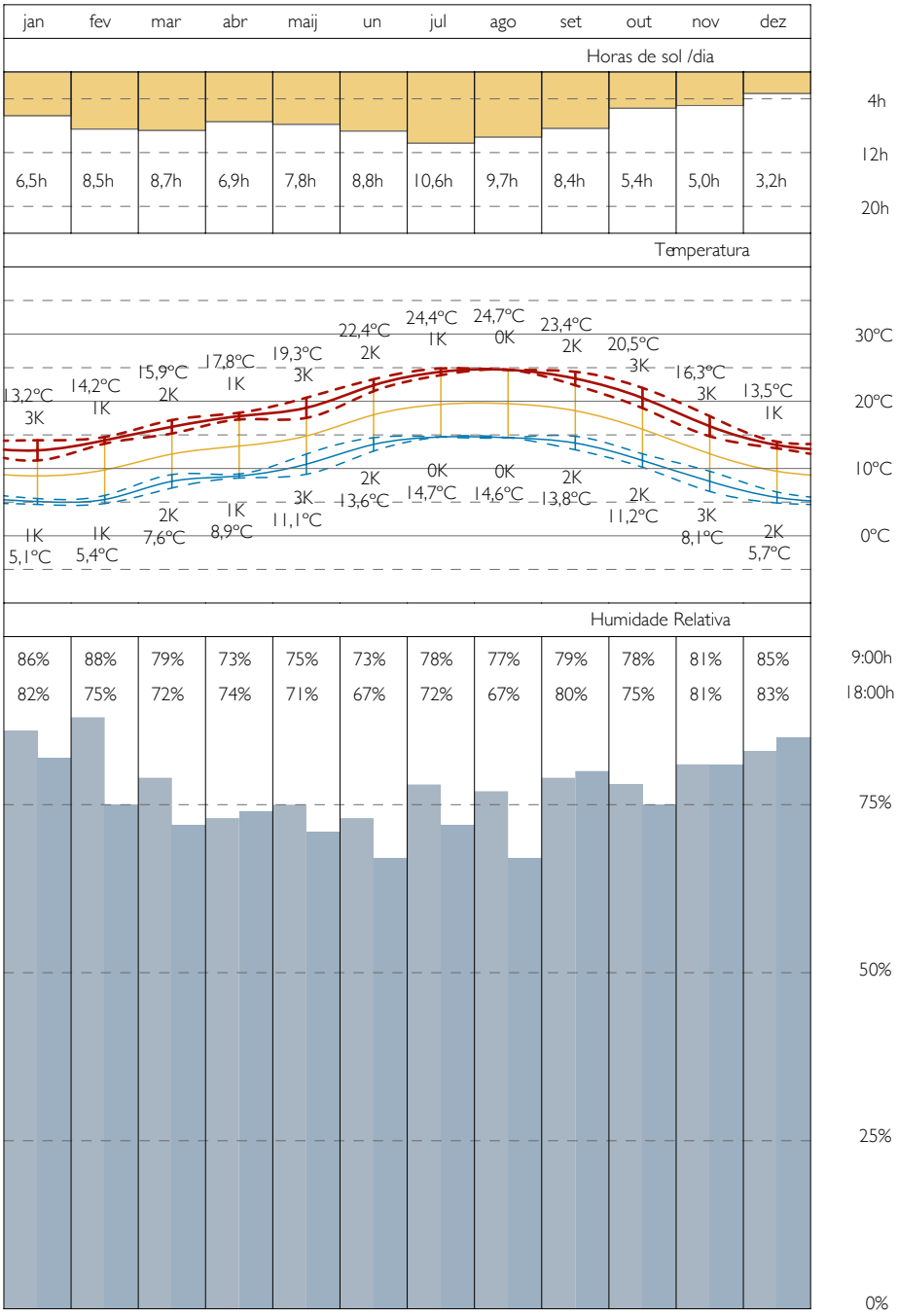


Imagem 55. Gráfico composto de dados climáticos referentes à cidade do Porto.

- Precipitação, que identifica a quantidade total de chuva, orvalho ou neve através de medidores de chuva e expressa em mm por unidade de tempo (dia, mês ou ano)[88].

- Totais mensais (mm)

- Radiação solar, medida através de um piranómetro sobre uma superfície horizontal desobstruída. Este instrumento regista tanto a variação de irradiância (W/m2) ou a radiação ao longo de uma hora ou um dia[89].

- Média total diária ao mês (W/m2)

- Movimento do ar, ou o vento, normalmente medido a uma cota de 10m acima do solo num espaço aberto, ou numa cota superior em zonas urbanas, de forma a prevenir obstruções ao mesmo. Sobre este movimento são registadas tanto a velocidade como a direção[90].

Tal informação pode ser representada em forma de tabela, como é possível verificar na página seguinte ou segundo gráficos, como estamos mais habituados a ler tal informação. Este tipo de elementos auxiliam a compreensão da configuração climática de uma determinada região de forma simplificada, permitindo ainda as necessárias comparações.

Com o apuramento dos referidos dados climáticos para a localização que serve de terreno de implantação ao exemplo deste estudo, é possível desenvolver um estudo de identificação das necessidades ambientais do espaço interior, para que se alcancem níveis de conforto térmico satisfatórios.

Tal exercício será desenvolvido adiante, a par de uma afinada reflexão sobre as necessidades microclimáticas de conforto térmico.

88. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 28

89. idem.

90. idem.

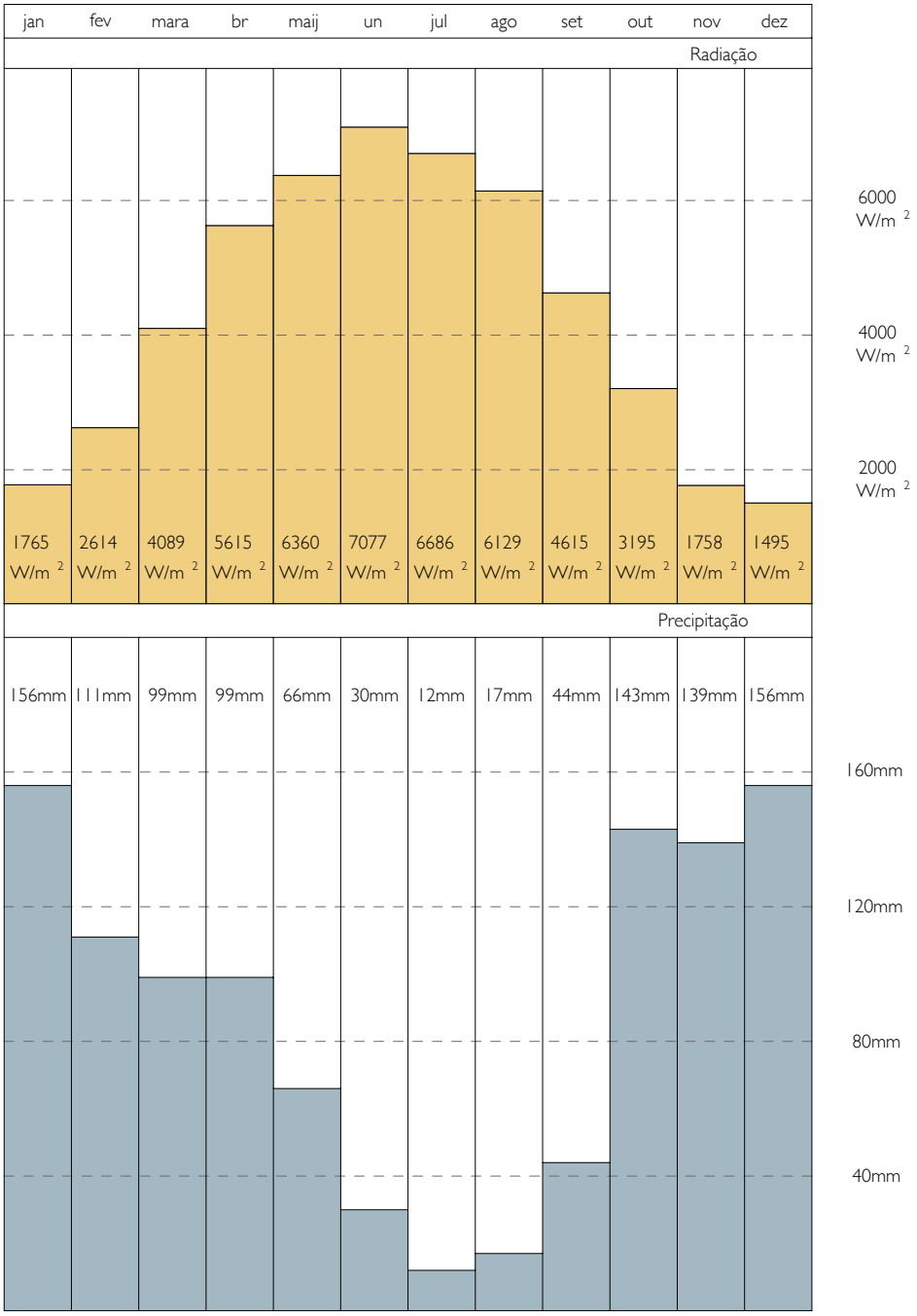


Imagem 56. Gráfico composto de dados climáticos referentes à cidade do Porto.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun
						Temperatura
Média máxima diária °C	13.2	14.2	15.9	17.8	19.3	22.4
Desvio Padrão K	3	1	2	1	3	2
Média mínima diária °C	5.1	5.4	7.6	8.9	11.1	13.6
Desvio Padrão K	1	1	2	1	3	2
						Humidade
Humidade relativa manhã %	86	88	79	73	75	73
Humidade relativa tarde %	82	75	72	74	71	67
						Precipitação
Totais mensais mm	156	111	99	99	66	30
						Radiação
Média diária ao mês W/m^2	1765	2614	4089	5615	6360	7077
						Movimento do ar
Direção do vento °/N	110	90	90	350	300	320

jul	ago	set	out	nov	dez	Mês
Temperatura						
24.4	24.7	23.4	20.5	16.3	13.5	Média máxima diária °C
1	0	2	3	3	1	Desvio Padrão K
14.7	14.6	13.8	11.2	8.1	5.7	Média mínima diária °C
0	0	2	2	3	2	Desvio Padrão K
Humidade						
78	77	79	78	81	85	Humidade relativa manhã %
72	67	80	75	81	83	Humidade relativa tarde %
Precipitação						
12	17	44	143	139	156	Totais mensais mm
Radiação						
6686	6129	4615	3195	1758	1495	Média diária ao mês W/m^2
Movimento do ar						
300	0	190	170	110	100	Direção do vento °/N

Imagem 57. Tabela de dados climáticos referentes à cidade do Porto.

2.3.3 Microclima

Os elementos naturais como a topografia, a vegetação ou as superfícies aquáticas podem ter um papel determinante na configuração microclimática do lugar a construir, uma vez que podem tanto condicionar a incidência solar num edifício, como o movimento natural do ar, ou as zonas de pressão.

Segundo Olgyay, a temperatura da atmosfera diminui com o aumento da altitude. A variação na temperatura pode alcançar o 1ºC a cada 100m no verão e a cada 120m no inverno[91].

91. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 44

Assim como as regiões montanhosas podem marcar uma diferença na configuração macroclimática, pequenas diferenças altimétricas sobre o terreno podem alterar o microclima do lugar em questão. Por estas razões, a topografia é um elemento de extrema importância na localização da construção que se pretende relacionar com o clima.

A água, por sua vez, tem uma capacidade térmica superior à da superfície terrestre, o que faz com que esta seja, normalmente, mais quente no inverno e mais fresca no verão em relação à temperatura atmosférica, sendo que o mesmo acontece entre a noite, em que a água é mais quente e o dia, em que a água é mais fresca, em relação à temperatura ambiente.

Consequentemente, a proximidade de superfícies aquáticas influência as características microclimáticas do lugar, aumentando as temperaturas mínimas no inverno e diminuindo as temperaturas máximas no verão.

Os pavimentos naturais são mais um dos elementos que podem ajudar a temperar o clima de um determinado local através das suas capacidades de reflexão. Pavimentos relvados, por exemplo, reduzem a temperatura através da absorção da insolação e posterior evaporação.

Olgyay exemplifica:

"Geralmente se verifica que as temperaturas de superfícies relvadas em dias de verão encontram-se cerca de 10ºC a 14ºC mais frescas do que os pavimentos expostos."[92]

92. ibidem, pág. 51

O mesmo acontece com outros tipos de vegetação como as árvores, que, por sua vez, podem arrefecer a sensação térmica até 5ºC quando comparadas a espaços semelhantes onde esse tipo de vegetação não existe[93].

93. idem.

Contrariamente, a tendência da construção é pavimentar as superfícies expostas com materiais escuros com características de absorção muito acentuadas, o que aquece o ambiente de forma desadequada. As consequências deste erro à noite podem ainda ser potenciadas, uma vez que, se já de dia a diferença de temperatura entre este tipo de materiais e a temperatura atmosférica é elevada, à noite aumenta.

Neste sentido, um estudo prévio microclimático revela-se necessário, não só para evitar tais diferenças de temperatura, mas principalmente para as aproveitar, com zonamentos específicos que aproveitem tanto os materiais com características de absorção como os materiais com características de reflexão, de acordo com as necessidades de conforto das determinadas áreas. A esta estratégia podemos ainda adicionar outras como a plantação de vegetação que podem ajudar a controlar a sensação térmica dos espaços ao longo dos diferentes períodos do ano.

Nos textos seguintes,, começamos a explorar um exemplo de lugar de implantação consoante os princípios elaborados até aqui, na tentativa de expor, com um caso prático, as condicionantes que se devem ter em consideração para o desenvolvimento do projeto desde o estudo prévio.

O vento, por sua vez, pode ter uma influência muito maior. Este, por diversos fatores, pode ser mais quente ou mais frio, mais seco ou mais húmido, e move–se por entre zonas com diferentes temperaturas devido às diferenças de pressão. Este movimento pode ser influenciado por obstáculos que se coloquem no seu caminho, e pela presença desses mesmos obstáculos, sejam eles naturais ou artificiais, é possível controlar a ação do vento num determinado microclima[94].

94. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas*. 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág.11

Analisar um microclima consiste fundamentalmente em analisar a relação entre os referidos parâmetros. Rafael Serra sugere a elaboração de esquemas gráficos que sintetizem tais relações de forma a identificar as necessidades do local sobre o qual se pretende intervir[95].

95. ibidem, pág. 12

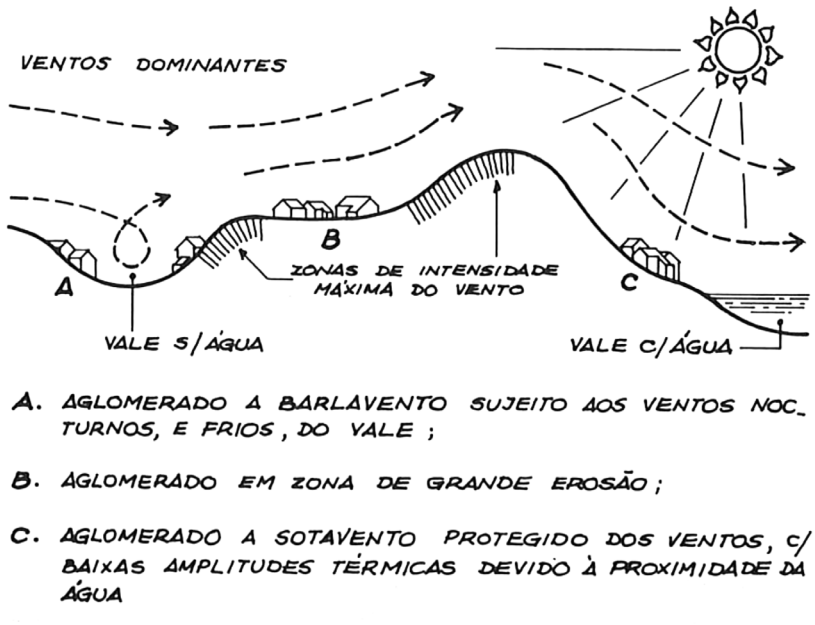
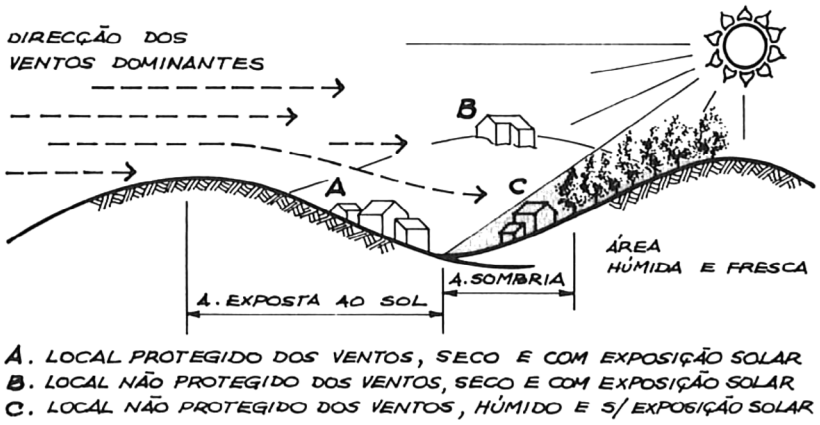


Imagem 58. A localização ideal de um edifício ou aglomerado deve obedecer a um cuidado estudo das condições climáticas do local.

Esses esquemas podem ser realizados de acordo com o tempo, ao ter em conta a época do ano ou hora do dia. Mais do que em planta, as referidas representações devem ter em conta a terceira dimensão, pelo que o corte ganha uma tremenda importância nesta análise.

Nunca é demais referir que para além das ações do sol e do vento, o arquiteto deve ter em conta outras condicionantes como a acústica ou a unidade de paisagem que tanto contribuem para um difícil bem-estar[96].

96. idem.



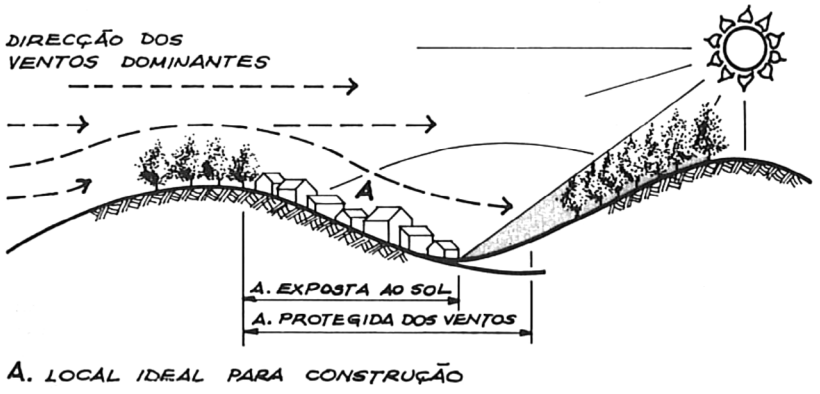


Imagem 59 e 60. Os edifícios situados em zonas expostas e desprotegidas (B) ou em zonas húmidas de fraca exposição solar (C) só conseguem situações de conforto térmicos mediante despendiosos consumos de energia ou técnicas de construção.

A maior lição que podemos retirar desta reflexão é que tudo o que se passa ao redor da arquitetura é tão ou mais importante que a arquitetura em si, na perspetiva da consciência ambiental da mesma. Sendo esse o ponto de partida, a abordagem climática começa sempre a uma escala mais alargada, com um estudo prévio que ultrapassa o lugar de implantação.

Ao senso comum, o clima é uma condição uniformemente distribuída ao longo de um vasto território. Esta impressão deriva da informação que nos é transmitida através dos dados meteorológicos que tentam oferecer uma ideia diária sobre as condições atmosféricas de uma determinada região, para além das ideias pré-concebidas que nos permitem localizar o dia em causa sobre um período de tempo mais alargado, como por exemplo a noção de estações do ano.

Contudo, ao viajar pelas diferentes cotas e distâncias do local onde vivemos o nosso quotidiano, ou seja, ao nível individual, conseguimos verificar que condições atmosféricas diferentes coexistem lado a lado. Estes fenómenos, segundo Olgyay, são as configurações microclimáticas que podemos encontrar, de forma mais localizada, dentro da escala mais alargada do macroclima[97], sendo este último o que nos é transmitido. As diferenças das condições de temperatura, humidade ou de movimento do ar, são facilmente apreensíveis entre diferentes locais e o estudo das particularidades de um dado microclima pode ser muito útil à utilização do solo por parte da arquitetura.

97. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 44

Olgyay defende que o arquiteto pode ter uma postura sobre este tema:

"Primeiro, na escolha do lugar, devem ser consideradas as localizações mais favoráveis. Segundo, um lugar menos favorável pode ser aprimorado por obstáculos ao vento e por superfícies envolventes que induzem reações vantajosas nos impactos de radiação e temperatura"[98]

98. idem.

Embora a caracterização climática de uma determinada região seja fundamental para a definição global das estratégias a adotar na elaboração do projeto de arquitetura, devemos ainda ter em conta outros fatores que podem influenciar tal planeamento.

As configurações climáticas apresentadas são conjuntos de características que apenas podem ser identificadas a uma escala alargada, contudo as características da envolvente onde se vai implantar o edifício são também tão ou mais importantes que as mais alargadas. Esse ambiente, mais aproximado, é conhecido como microclima. A orientação das pendentes, a proximidade com superfícies aquáticas ou até a localização de vegetação, por exemplo, podem ser fatores que influenciam drasticamente a variação de um determinado lugar em relação à configuração climática sobre a qual o mesmo está inserido.

Segundo Rafael Serra, muitas vezes, a eleição do local de implantação de um edifício é um gesto muito mais arquitetónico que desenhar o próprio edifício[99].

99. SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág.10

Em conjunto com estas características, e especialmente para climas temperados, a ação do movimento do ar, isto é, do vento, desenvolve microclimas em lugares ou localidades especificas. A ação do sol, que por sua vez é determinante para caracterizar os climas a uma escala mais alargada, quando em conjunto com a ação do vento, provoca as referidas variações microclimáticas, que, segundo o autor, também podem ser definidas através dos quatro parâmetros que definem as diferentes configurações climáticas gerais, sendo estas a temperatura do ar, a radiação, a humidade e o movimento do ar[100].

100. ibidem, pág. 11

Assim conseguimos identificar as duas principais forças capazes de produzir as variações apontadas num determinado microclima: o sol e o vento.

O sol, que atravessa o ar exposto e o aquece, assim como a radiação que o solo emite ao ser aquecido, provocam na percepção do indivíduo uma sensação térmica que pode ser diferente entre sítios muito próximos[101].

101. idem.

Movimento do ar

Mais do que uma tentativa de composição de elementos sólidos que constituem os espaços da arquitetura, este estudo pretende essencialmente ser um projeto do ar que percorre os referidos espaços. Embora a fonte de energia seja o sol, de nada serve esse calor se não dominarmos a forma de transporte do mesmo para alcançar os níveis de conforto desejados. O ar é assim a matéria fundamental deste projeto, e o que aqui se pretende desenhar é precisamente o seu percurso.

Neste sentido, exploramos de seguida, o percurso natural do ar, de forma a sermos capazes de o manipular em benefício do conforto do espaço interior, assim como compreender as causas desse mesmo movimento, de forma a nos apoderarmos de tais princípios para criar novos percursos.

O movimento do ar pode ser caracterizado, segundo Szokolay, através de três parâmetros fundamentais: pela velocidade (em m/s); pela taxa de fluxo de massa (em kg/s); e pela taxa de fluxo de volume (em m3/s)[102]. Por exemplo, para uma dada fenestração num edifício, a taxa de fluxo de volume de ar que a invade pode ser medido através da multiplicação da área da abertura pela velocidade do ar[103].

O movimento natural do ar, como o vento, acontece pela diferença de pressão entre duas zonas. Este ar terá tendência a fluir desde uma zona de alta pressão para uma zona de baixa pressão, assim como o calor terá tendência a mover-se de uma zona mais quente para uma zona mais fria através dos fenómenos de condução, convecção e radiação esclarecidos anteriormente. A diferença de pressão acontece principalmente pela diferença da temperatura do ar entre duas zonas distintas. Este terá tendência a fluir de uma zona onde o ar revela uma temperatura mais elevada para uma outra zona onde a temperatura do ar se revela mais fresca, na tentativa de restaurar o equilíbrio.

102. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 14

103. idem.

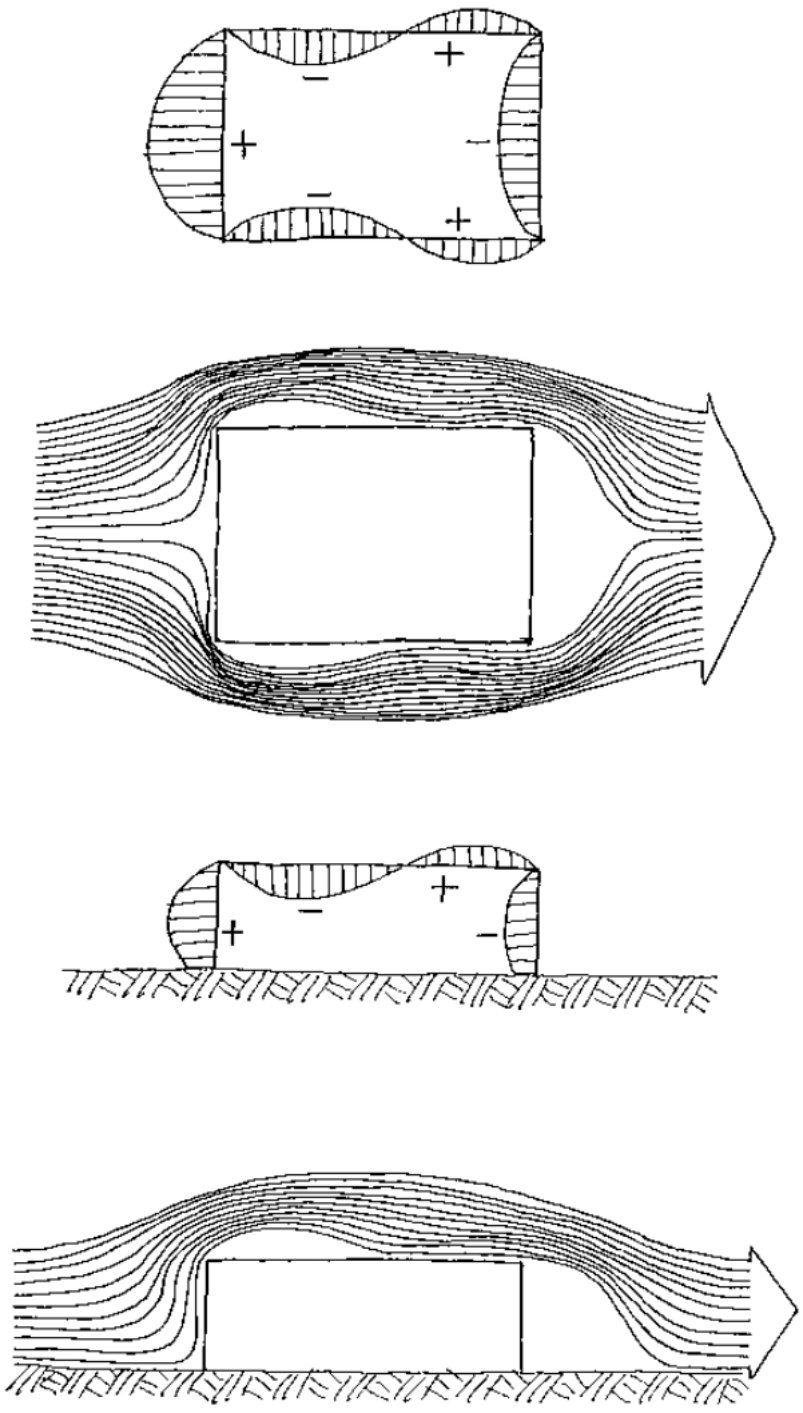


Imagem 61. O movimento natural do ar sobre um edifício.

Existem dois efeitos através dos quais podemos verificar a referida tentativa de reposição do equilíbrio natural da pressão entre zonas distintas.

A primeira, e mais forte, é a presença do vento. A uma escala alargada, através dos dados meteorológicos conseguimos compreender as zonas de pressão diferenciadas, de onde se produzem os padrões de ventos predominantes de uma determinada região.

A partir desses ventos predominantes, a uma escala mais aproximada, é possível explorar sobre um determinado local, as zonas com diferentes pressões, com base nos elementos que nesse lugar se implantam, como por exemplo edifícios ou vegetação.

No exemplo do edifício, a zona a barlavento (onde incide o vento dominante), produz um campo de pressão positivo, onde a pressão é proporcional ao quadrado da velocidade. Entretanto, a sotavento (na direção do vento dominante), produz-se um campo de pressão negativo, onde a pressão é reduzida em relação à primeira. A relação entre os dois campos de pressão dará origem a uma ventilação cruzada natural[104].

104. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 16

Se a orientação dos espaços interiores do edifício tiver em conta a direção dos ventos predominantes, poderá usufruir do referido movimento natural do vento para garantir uma ventilação natural cruzada do espaço, que pode servir principalmente as necessidades de arrefecimento do espaço.

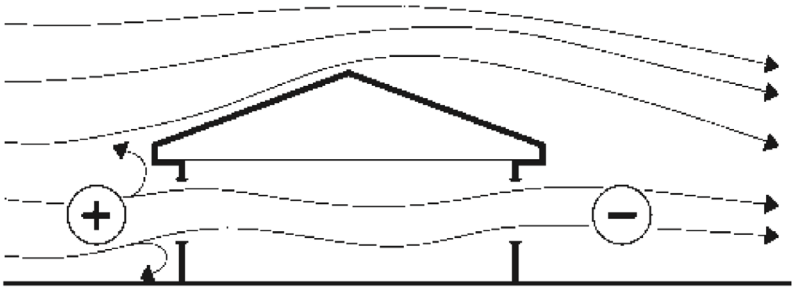


Imagem 62. Wind effect: cross ventilation.

A segunda consiste no movimento vertical do ar, através do efeito chaminé. Este ocorre quando o ar, dentro de uma conduta vertical, se encontra mais quente que o ar exterior, quando existem entradas e saídas de ar. Contudo, se a diferença de temperatura entre o ar exterior e o ar interior for reduzida, não se verificará movimento do ar.

O ar interior terá tendência a subir e escapar pela abertura, enquanto vai sendo substituído, na entrada inferior por ar exterior novo, mais fresco. Um bom exemplo será sempre a chaminé, mas este fenómeno pode também ocorrer em espaços altos, com pés direitos consideráveis, desde que exista uma entrada de ar a um nível inferior, e uma saída do mesmo a um nível superior, o que pode ser muito útil à ventilação e renovação do ar no referido espaço. Ou ainda, com o domínio suficiente sobre este fenómeno, o mesmo pode ser aproveitado para o aquecimento de um determinado espaço.

O que Szokolay refere como chaminé solar, consiste num dispositivo que tem, pelo menos, uma das suas faces expostas à radiação solar, sendo essa mesma face altamente absorvente. Esta será aquecida pela absorção que consequentemente aquecerá o ar interior, pelo esforço de aumento da diferença de temperatura entre o ar exterior e interior, o que irá aumentar a velocidade do movimento do ar que é transportado para o interior do espaço como pretendido[105].

105. idem.

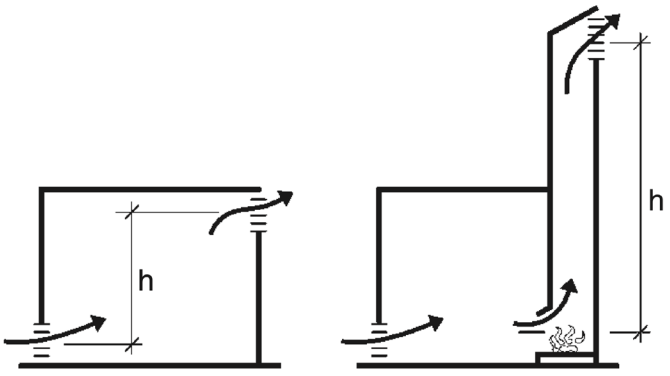
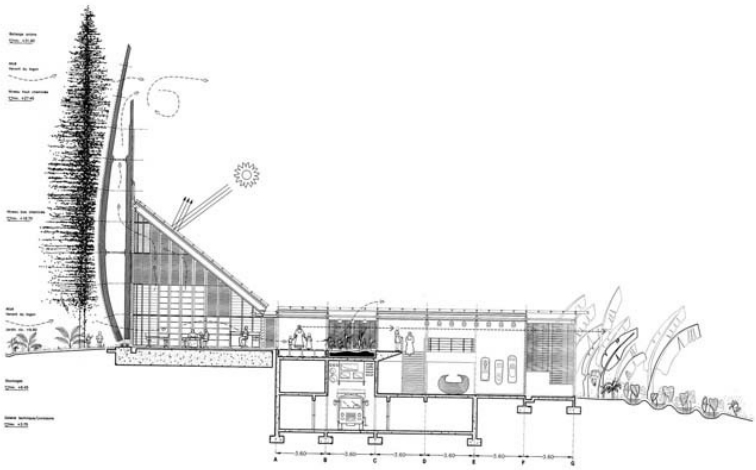
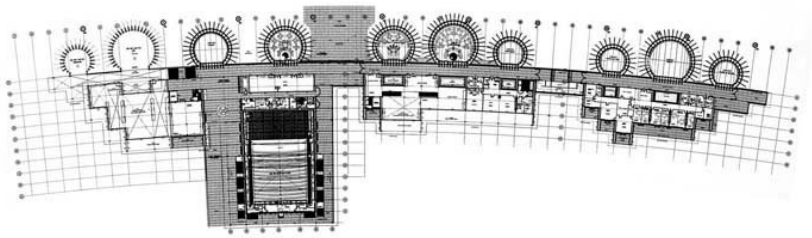
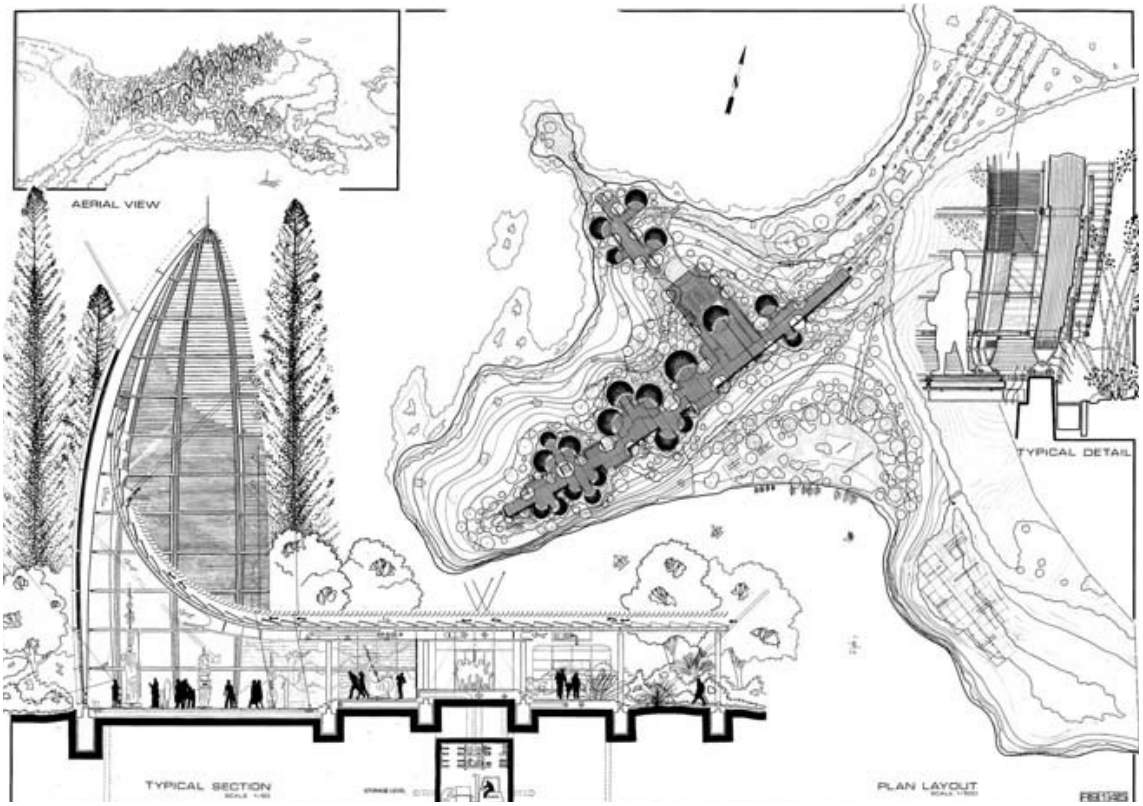


Imagem 63. Stack effect in a room and in a chimney.

Imagem 64 e 65. Desenhos da adaptação climática de um local de implantação menos favorável. Arq. Renzo Piano, Jean-Marie Tjibaou Cultural Center.







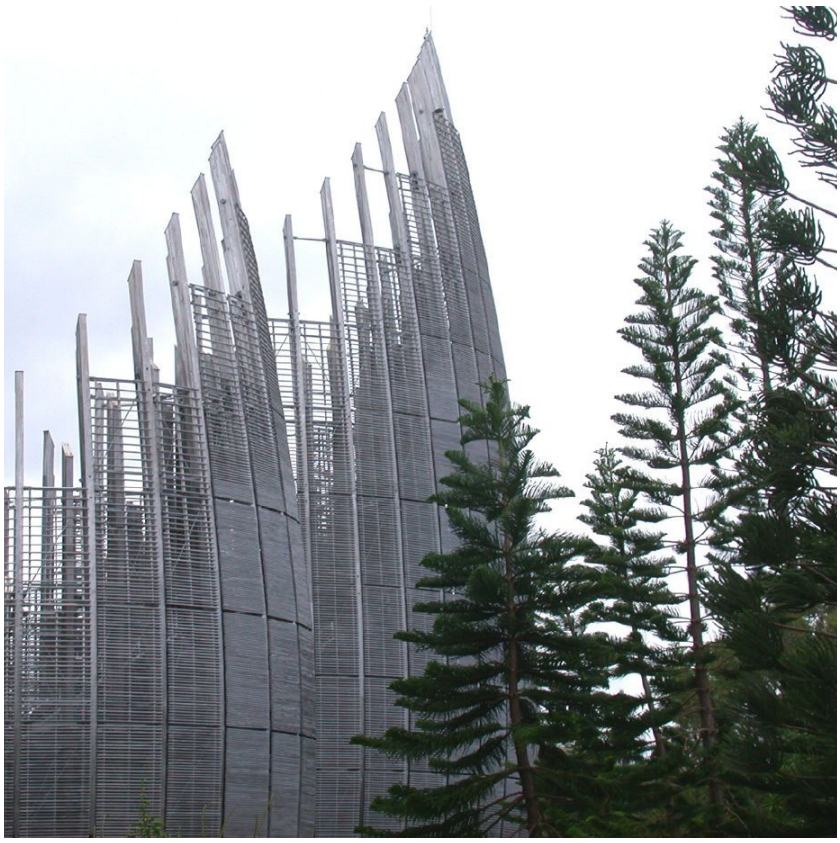


Imagem 66 e 67. Fotografia aproximada e afastada. Arq. Renzo Piano, Jean-Marie Tjibaou Cultural Center.

CONTRIBUTO PARA UM MANUAL DE ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: PROJETO DE HABITAÇÃO BIOCLIMÁTICA NO PORTO 3.

CLIMA, LUGAR E ARQUTETURA 3.1

IMPLANTAÇÃO 3.2
Controlo microclimático 3.2.1
Exposição solar
Movimento natural e controlado do ar

FORMA 3.3
Organização do espaço 3.3.1
Ventilação 3.3.2

SISTEMA DE CONTROLO SOLAR 3.4
Ganhos térmicos no inverno 3.4.1
Proteção solar no verão 3.4.2

EFICÁCIA DO SISTEMA 3.5

3.1 CLIMA, LUGAR E ARQUITETURA

Os diferentes climas que existem no mundo, revelam exigências bioclimáticas muito próprias sobre as quais os arquitetos tentam criar categorias, como pudemos constatar anteriormente. Ainda, dentro de tais climas, consoante os espaços edificados, existem também diferentes necessidades térmicas ou de conforto ambiental.

Exemplo desta ideia é o aproveitamento da exposição solar de um terreno dependendo da função dos edifícios que neste vão ser erguidos. Para edifícios habitacionais, revela-se necessário o aproveitamento da energia solar proveniente do sul. Porém, noutro tipo de programas, como um equipamento cultural por exemplo, pode não se verificar tal necessidade, uma vez que este não revela a exigência de desenvolver um ambiente interior com o mesmo nível de conforto que um edifício residencial, mesmo que outras estratégias bioclimáticas se apliquem.

Desde o ponto de partida, como temos vindo a reforçar, esclarecer as necessidades da configuração climática é a chave para uma relação bem-sucedida entre a arquitetura proposta e o clima. Nas zonas climáticas mais frias, por exemplo, o objetivo passa pela preservação do calor acumulado, por isso, lugares protegidos dos elementos que possam dissipar esse calor serão os mais favoráveis à implantação do edifício.

Segundo Olgyay, a existência, para um caso favorável, ou a criação, num caso desfavorável, de um cinto térmico, em encostas protegidas dos ventos predominantes, mas bem expostas à insolação de inverno, pode ser uma ferramenta muito útil à implantação do edifício.[1]

1. OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 44

No caso do clima temperado com necessidades de aquecimento, como identificado para o caso da cidade do Porto, segundo o programa proposto (habitação), a exposição solar a sul revela uma

importância significativa. Uma posição a uma cota elevada da encosta pode ainda potenciar o efeito de conservação de calor, uma vez que se afasta da zona mais fresca do vale, onde se deposita o ar mais fresco.

Contudo, o principal fator de domínio reside na relação entre os períodos de sobrearrefecimento e sobreaquecimento como principal objetivo deste tipo de zona climática. A orientação a sul continua a ser uma preocupação pertinente, na medida em que apresenta a melhor forma de acesso à principal fonte de aquecimento, o sol.

Desta forma, e principalmente para os períodos mais frios, a zona topográfica mais elevada tende a ser uma localização favorável de implantação, se for bem protegida dos ventos predominantes. No entanto, neste tipo de configuração climática, a brisa ganha uma maior relevância e torna-se imprescindível nos períodos mais quentes.

É neste sentido que se apresenta o desafio de cooperação entre os períodos de sub e sobre aquecimento do ano. O mesmo se aplica ao controlo solar, na medida em que o domínio sobre a proteção solar é essencial na tentativa de utilizar o sol como aquecimento no inverno, sem que o mesmo sobreaqueça o espaço no verão.

Nas imagens das páginas seguintes apresentamos um terreno, que serve de exemplo a uma localização favorável de cooperação entre a potencial arquitetura e o clima. Localizado na freguesia de Campanhã, este terreno, que até 2007 estava ocupado com um modelo de habitação social, apresenta condições topográficas de implantação favoráveis e uma ótima exposição solar, uma vez que se encontra na posição mais elevada de uma encosta, orientada a sul, que se estende até ao Rio Douro, afastando-se dessa superfície aquática cerca de 1km.

3.2 IMPLANTAÇÃO

A partir deste momento, exploraremos um caso prático de aplicação dos princípios bioclimáticos enunciados até então[2]. Para além desses, abordamos algumas tecnologias passivas que, por sua vez, materializam o aproveitamento da energia solar pretendido.

Interessa alertar para o carater orientativo das soluções apresentadas e esclarecer que, todos os princípios arquitetónicos que não são abordados, e mesmo os que não são aprofundados, pretendem devolver a liberdade possível ao projeto de arquitetura.

O terreno, como podemos constatar nas imagens, é caracterizado pela sua localização numa encosta a sul, que se estende até ao rio Douro, sobre a mesma orientação, e que se afasta do mesmo cerca de 1km. Encontra-se à cota mais elevada da encosta e revela uma exposição solar a sul muito favorável sem obstruções naturais ou construídas.

A sua relação com o rio, como podemos ver no perfil da página seguinte, é atenuada pela presença da vegetação, numa clara relação altimétrica que, sem perturbar a unidade de paisagem, funciona como um cinto térmico que atenua os efeitos que o ar frio proveniente da proximidade com a superfície aquática poderia produzir de forma natural.

O esboço de uma futura implantação disponibilizado pela Câmara Municipal do Porto, demonstra uma preocupação significativa com o aproveitamento das mencionadas vantagens através do sentido de orientação dos edifícios. Essa acaba por ser a principal razão da adoção do mesmo para a seguinte experiência, que por sua vez, imprime conceitos, princípios e tecnologias de aproveitamento solar passivo, sobre uma proposta que à partida reúne as condições necessárias à elaboração de um projeto de arquitetura com uma consciência climática muito afinada e uma relação intima com o local onde se implanta.

1. Por uma questão de gestão de tempo, optamos por não desenvolver o projeto para além da escala 1:50, pelo que os desenhos devem ser analisados segundo a escala indicada na legenda de cada imagem.

Imagem 68 e 69. Esboço da implantação do futuro bairro de habitação social na encosta do Monte da Bela. Perspetiva aérea e planta. Acedido em: 05, 08, 2020, em: http://ruimoreira2017.pt/monte-da-bela-e-o-primeiro-projecto-destinado--habitacao-rendas-controladas-no-porto/

Em contexto, o local escolhido para a implantação da mencionada proposta de aplicação dos princípios enunciados neste estudo localiza-se na zona sul da freguesia de Campanhã, na cidade do Porto. Esta zona da metade oriental da cidade é caracterizada pela presença de um número significativo de bairros sociais pouco distantes entre si. A principal entrada ao referido terreno faz-se pelo Jardim da Corujeira, que por sua vez é uma praça ao redor da qual se implantam cerca de 4 dos ditos complexos habitacionais, ou mais até, dependendo do raio de análise.

É uma zona em vias de desenvolvimento, com um *master plan* que a envolve numa estratégia conjunta sobre a qual se destacam os projetos do Parque Oriental, o novo Intermodal de Campanhã ou o Matadouro. Revela ótimas acessibilidades de transporte individual ou coletivo, e é muito bem servido ao nível do comércio e de infraestruturas comunitárias, a distâncias pedonais.

Relativamente ao terreno em causa, desde 2017 que a vontade da C.M.P. passa pelo desenvolvimento de um projeto de conceção-construção, na tentativa de cooperar com entidades privadas para minimizar o investimento. Tal estratégia consiste na cedência de parte do terreno a promotores privados para a exploração imobiliária, assegurando, através dos mesmos, um investimento de compensação em habitação de interesse social. Este tipo de intervenção aconteceu no bairro Rainha Dona Leonor, na parte ocidental da cidade.

Assim, pelo que pudemos apurar como pertinente ao local de implantação, para esta localização devemos ter em conta três elementos principais na conceção de uma arquitetura que se quer relacionar com o clima: a exposição solar, pela orientação; a proximidade da superfície aquática, de 1km; e os ventos predominantes, uma vez que o terreno se encontra maioritariamente no topo da encosta.

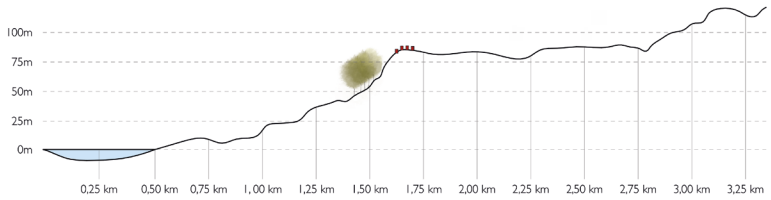


Imagem 70. Perfil esquemático da relação entre o terreno de implantação e o rio Douro.

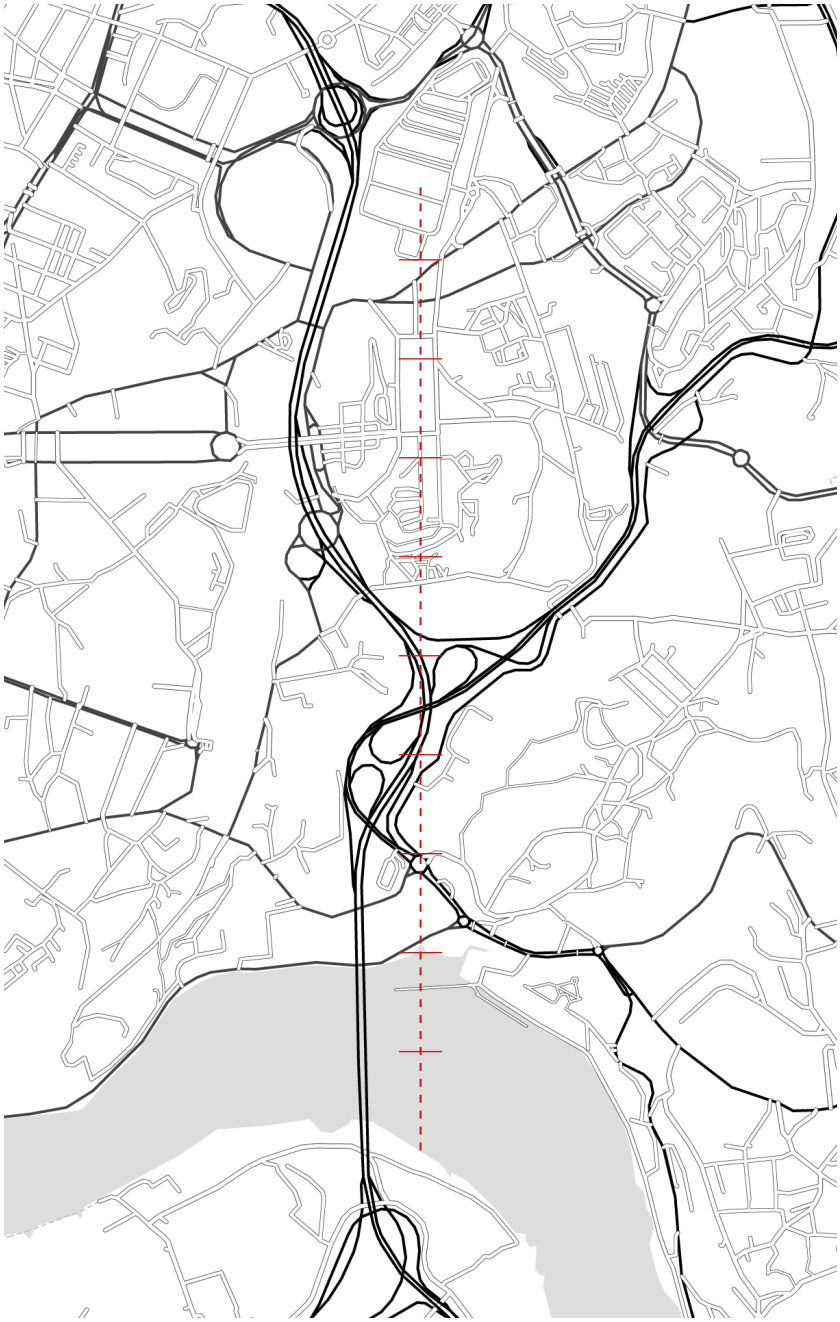


Imagem 71. Marcação, em planta, do perfil, com os respetivos espaçamentos.

3.2.1 Controlo microclimático

Numa primeira abordagem, o projeto que se apresenta, pretende relacionar-se com o local sobre o qual está implantado com os princípios fundamentais que temos vindo a defender até este momento – o aproveitamento das condições microclimáticas, uma vez que, segundo o que foi esclarecido com o discurso de Olgyay, este revela-se um local de implantação favorável. Neste sentido, à escala do conjunto, trabalhamos com duas vertentes importantes: a orientação solar e o movimento do ar.

Sendo este um terreno localizado no topo de uma encosta voltada a sul, os edifícios desenvolvem-se, consoante o esboço de implantação referido, no sentido este-oeste, com o objetivo de expor as suas maiores superfícies a norte-sul, como pudemos verificar ser vantajoso.

Desta forma, o edifício tem maior acesso à principal fonte de energia, o sol, para aquecer os espaços domésticos sem recurso a energia elétrica adicional, sendo esse o principal problema que pretendemos combater. Neste sentido, torna-se fundamental assegurar que as fachadas sul sejam completamente expostas ao sol. Para que tal seja possível, deve considerar-se a altura solar mínima, que podemos verificar no solstício de inverno, a 22 de dezembro, e que equivale a cerca de 25º. Identificado o ângulo mínimo, devemos assegurar que o edifício seguinte mantém uma cércea que permita que o sol alcance a totalidade vertical da primeira fachada, como podemos verificar no perfil apresentado na página seguinte.

Tal afastamento, para além de garantir a exposição solar da fachada sul, oferece ao espaço público uma folga muito útil a estratégias de controlo do movimento natural do ar. Sobre esse mesmo espaço público será possível desenvolver uma estratégia de plantação de vegetação, que não só controla o percurso do vento como também climatiza o espaço, no intuito de o dotar de um maior nível de conforto térmico, ainda no exterior.

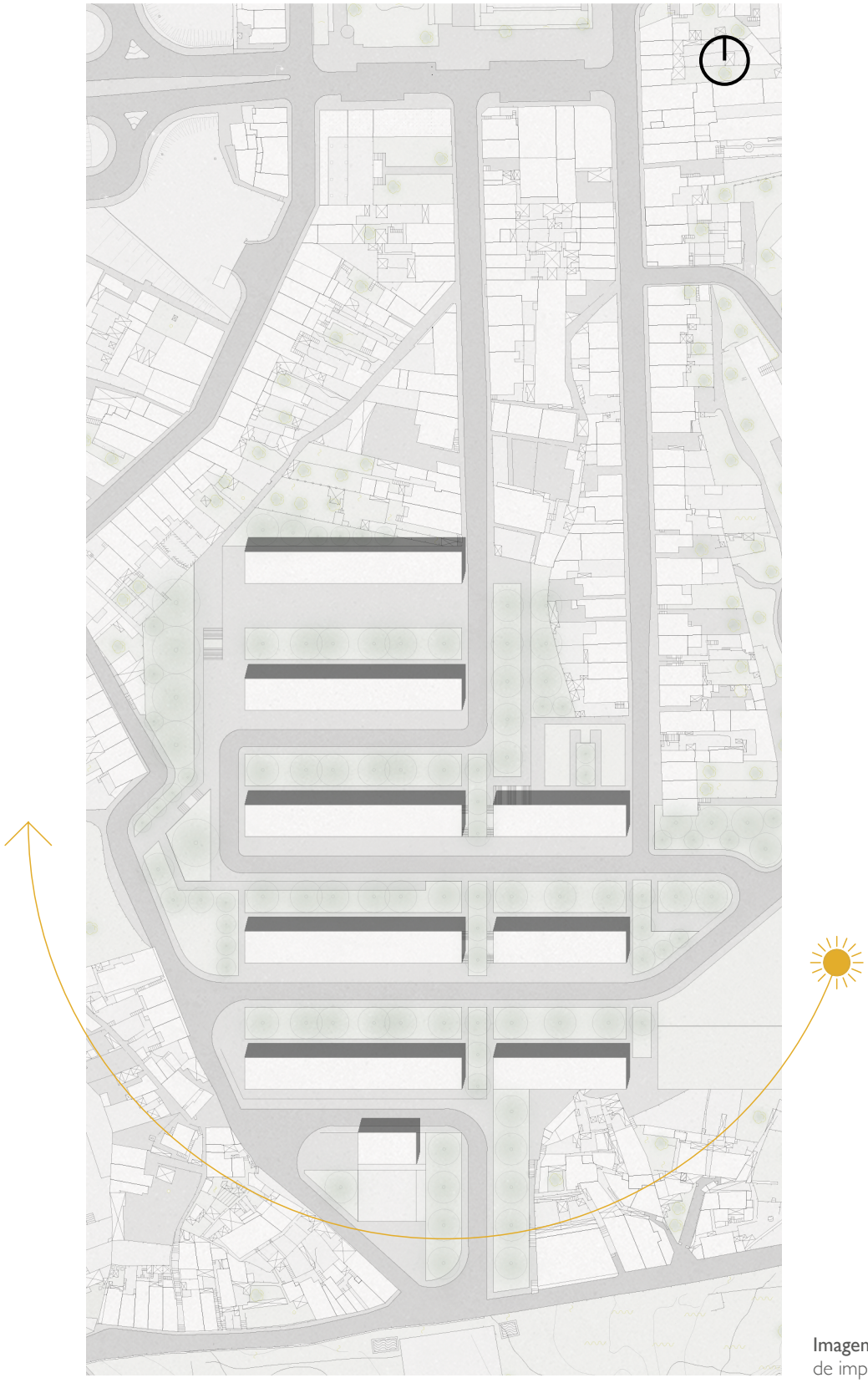


Imagem 72. Projeto. Planta de implantação. Esc. 1:2000

Exposição solar

A implantação dos edifícios da proposta deste estudo transforma o esboço de implantação que a CMP apresenta num único fator, que por sua vez é determinante: o afastamento entre edifícios.

Segundo Francisco Moita, o afastamento entre edifícios é uma componente de extrema importância para o desenho de uma arquitetura solar passiva. Tal afastamento deve assegurar a exposição total da fachada orientada a sul, para que no inverno se possam usufruir dos ganhos solares necessários.[3]

2. MOITA, Francisco, (2010). Energia Solar Passiva. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal. Pág. 45

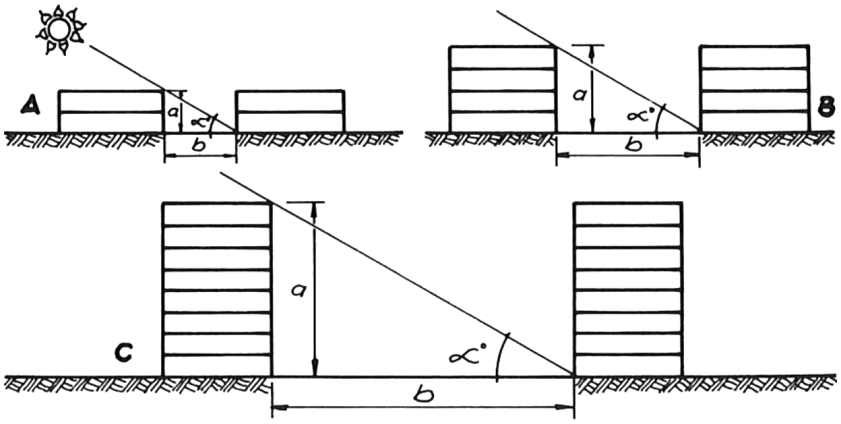
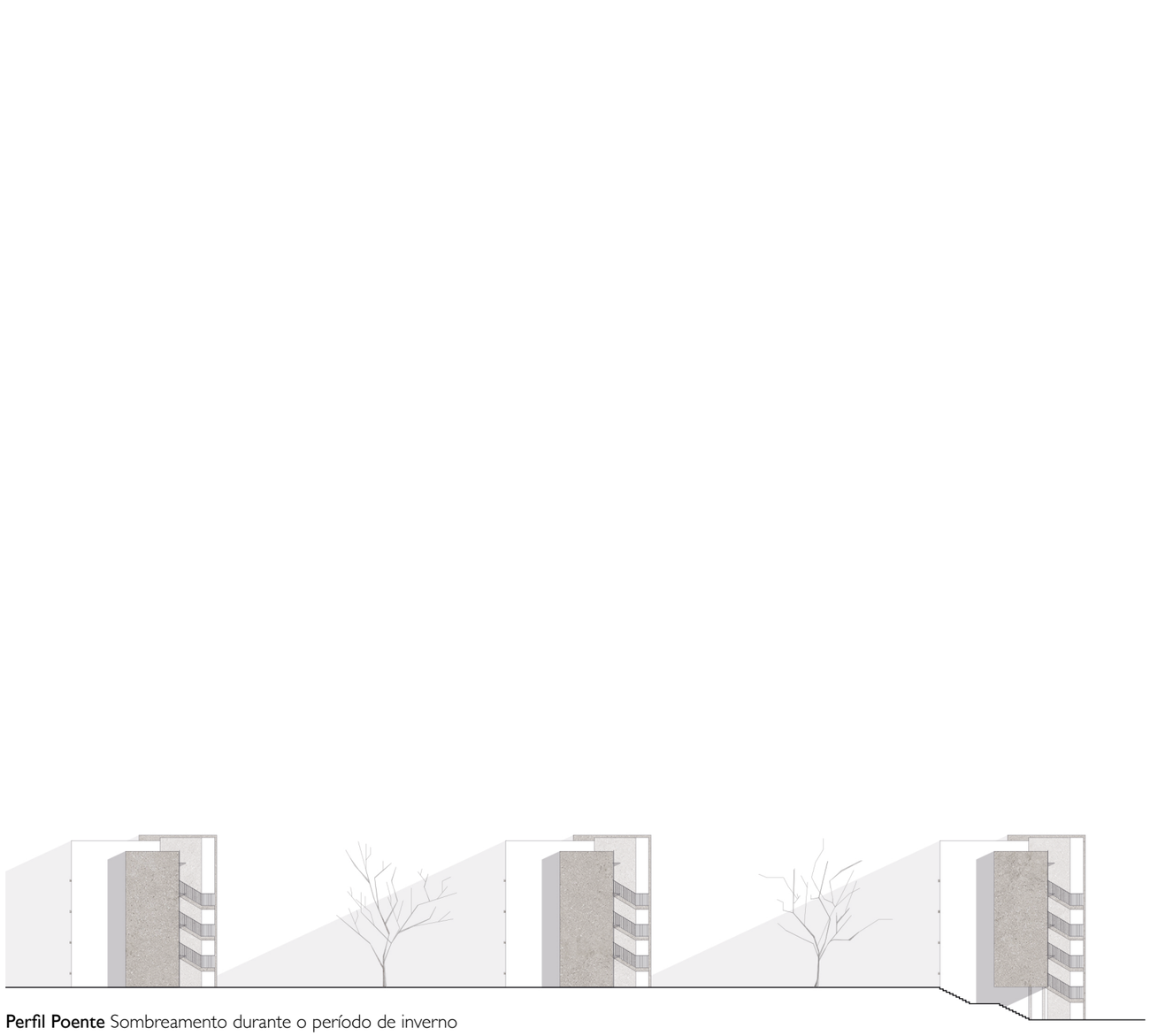


Imagem 73. A cércea de construção b deverá ser definida em função da altura solar de inverno (b = (n pisos x 3m)/ tang altura solar a 21 de dezembro).

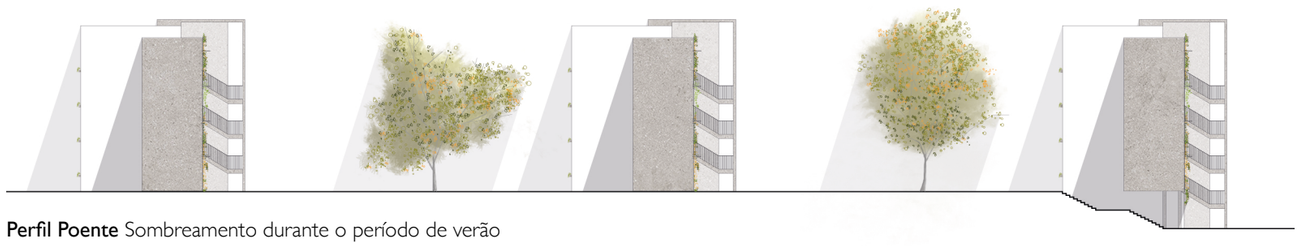
Embora o esboço que serve de referência a esta implantação não assegure tal critério, por condicionantes quantitativas de habitações necessárias, assumimos a partir deste momento esta ligeira transformação para que não se comprometa a elaboração do sistema.

De modo a dominar tal critério, o projeto pode trabalhar a relação entre altura e profundidade do edifício, de forma a aproximar ou afastar o mesmo, de acordo com as condicionantes construídas ou a construir.

Nas peças desenhadas seguintes é possível verificar como o projeto, com tal alteração ao esboço original consegue satisfazer a referida condição. Para além disso, é possível verificar como, de forma esquemática, o movimento natural do ar percorre o espaço em dois momentos, um paralelo e outro perpendicular aos edifícios.



Perfil Poente Sombreamento durante o período de inverno



Perfil Poente Sombreamento durante o período de verão

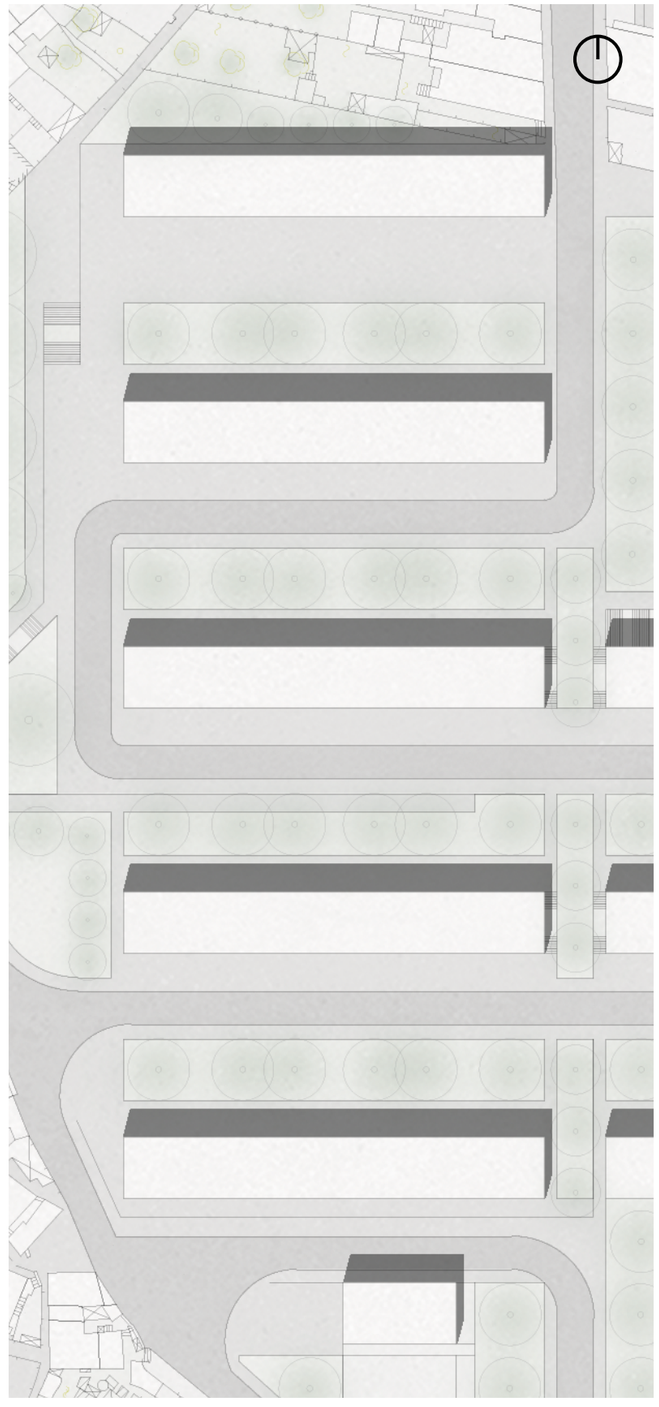


Imagem 74. Projeto. Planta de implantação dos primeiros três edifícios. Esc. 1:1000

Imagem 75. Projeto. Perfil poente dos primeiros três edifícios. Esc. 1:500

Movimento natural e controlado do ar

Sobre o referido movimento do ar, devemos tentar identificar o sentido dos ventos predominantes. Como podemos constatar no capítulo 2, os ventos predominantes percorrem o terreno no sentido noroeste-sudeste durante parte do ano, e no sentido contrário durante a maioria do tempo restante. Com tal informação é possível desenhar uma estratégia de domínio do percurso do ar em função das necessidades térmicas de um espaço habitado desde a rua.

Para a proposta que estamos a desenvolver, optamos pela plantação estratégica de árvores de diferente porte, de folha caduca, para que possam controlar o percurso do ar de forma diferente, consoante a época do ano, uma vez que as necessidades térmicas também variam sazonalmente.

Neste sentido, propomos a plantação de uma linha de árvores segundo as orientações principais dos ventos predominantes, com altura semelhante à do edifício. Desta forma, oferecemos um obstáculo ao vento, que o encaminha no sentido paralelo aos edifícios durante a estação de verão.

O efeito que tal estratégia produz reflete-se na criação de zonas de pressão diferenciada na frente norte e sul do edifício. Como o movimento do ar tende a seguir das zonas de pressão positiva para zonas de pressão negativa, com a implantação de árvores do mesmo tipo entre os edifícios, criamos um segundo momento do percurso do vento, que por sua vez se encaminha em direção ao edifício, onde encontra os espaços permeáveis das zonas comuns, permitindo uma ventilação cruzada nas entradas dos diferentes edifícios.

Este princípio assegura também a ventilação natural do espaço doméstico, que por sua vez apresenta uma estratégia de permeabilidade algo diferente, como podemos verificar adiante.

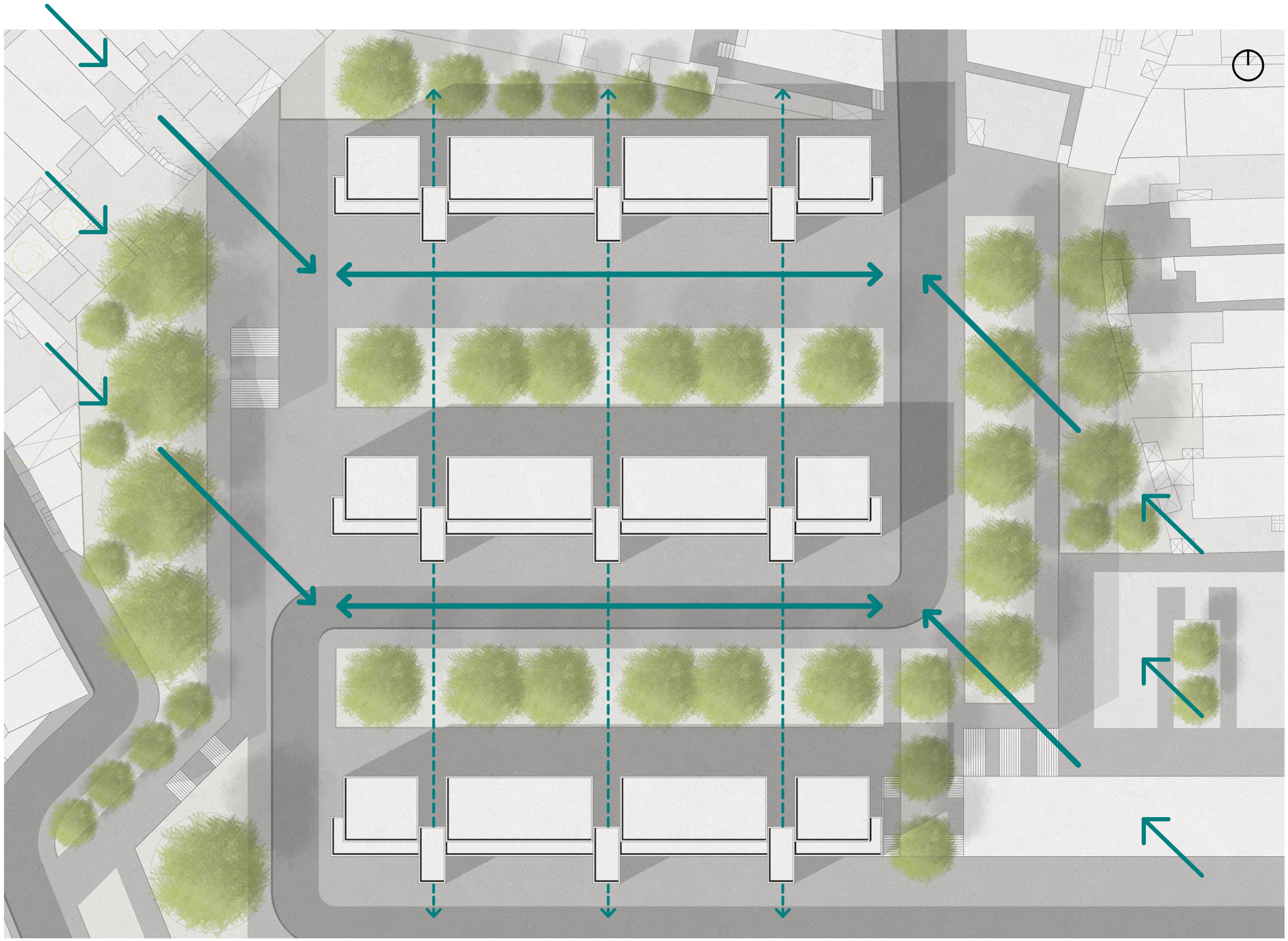


Imagem 76. Planta de implantação dos três primeiros edifícios / esquema do movimento do ar. Esc. 1:500

3.3 FORMA

"A planta e a forma do edifício são o resultado de um processo complexo sobre o qual se revela necessário sintetizar aspetos funcionais, técnicos e estéticos."[4]

Aspetos como o vento, a direção e a quantidade de radiação solar, assim como a sua proteção ou exposição, a qualidade do ar e o ruído, são fatores que determinam a relação entre o edifício e o ambiente exterior, assim como a sua forma e a sua envolvente exterior.

Uma estratégia bioclimática para a nossa configuração climática relaciona componentes como a energia, o aquecimento e o arrefecimento. Estes são os pilares que podem definir os princípios climáticos que devem ser adicionados à abordagem do arquiteto, principalmente quando confrontados com o problema da habitação, onde a necessidade entra sempre em cena. Carlos Hernández Pezzi afirma que um edifício, apenas com um cuidado pela forma e orientação, pode reduzir até 40% das suas necessidades energéticas[5].

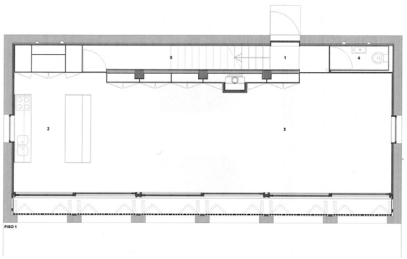
Quando o objetivo consiste no controlo do aquecimento e arrefecimento de um edifício, a melhor forma que um edifício pode ter, numa configuração climática como a nossa, será sempre aquela que privilegie os ganhos térmicos no inverno e os reduza no período de verão. Um bloco alargado que expõe as suas superfícies mais alargadas a norte-sul e as mais estreitas a este-oeste prevê as condições apontadas, quando devidamente acauteladas.

Segundo Pezzi, para as latitudes europeias, a fachada sul recebe pelo menos três vezes mais radiação solar no inverno que as fachadas este e oeste, enquanto no verão, a situação inverte-se, sendo que durante todo o ano, a fachada a norte recebe muito pouca radiação[6].

3. PEZZI, Carlos Hernández (2010). Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. 7ª ed., Gustavo Gili. Barcelona. Pág. 72

4. idem.

5. ibidem. Pág. 73



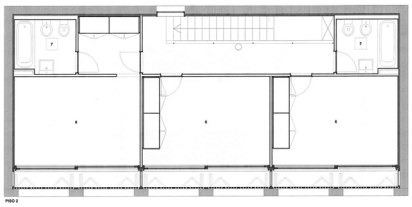


Imagem 77 e 78. Plantas do projeto de reconversão de um sequeiro. Arq. José Gigante.

Imagem 79 e 80. Fachadas sul e norte do projeto de reconversão de um sequeiro. Arq. José Gigante.

De acordo com o mesmo autor, o tipo de habitação germinada orientada a norte-sul, acaba por ser a mais vantajosa na maioria dos tipos de clima, uma vez que só dispõem de duas superfícies exteriores e ambas sobre as melhores orientações, enquanto permitem ao mesmo tempo uma ventilação cruzada. Ainda assim devem revelar particular atenção pela organização do espaço interior. Contudo, o apartamento dispõe de uma maior proteção térmica de conjunto, uma vez que às proteções laterais se junta a proteção em altura, pela sobreposição de habitações. No entanto, nem sempre se verifica que os apartamentos de um edifício alcançam as duas frentes, o que por sua vez, compromete a eficácia das vantagens deste tipo de habitação.

O tipo de edifício de habitação coletiva com acesso em galeria, por sua vez, revela também uma forma muito prática aos princípios solares passivos, na medida em que não exige muita profundidade e o esquema de organização oferece imensas possibilidades de desenvolvimento arquitetónico com princípios climáticos.

No entanto, não nos devemos esquecer que no caso da configuração climática temperada, o objetivo consiste em dominar as amplitudes térmicas diárias e sazonais, e por isso o edifício deve principalmente ter uma certa flexibilidade na sua relação com o exterior. Desde que a abordagem arquitetónica o permita, qualquer tipo de edifício pode ser adaptado consoante os princípios climáticos, quando devidamente estudados sobre o determinado microclima do lugar de implantação do mesmo.

Com a orientação assegurada, a organização do espaço é um aspeto muito importante e até mesmo determinante à forma do edifício. Uma vez construído, como no caso dos projetos de reabilitação, esta é uma questão muito difícil de controlar, e por isso dificulta a intervenção sobre a pré-existencia com uma consciência climática afinada.

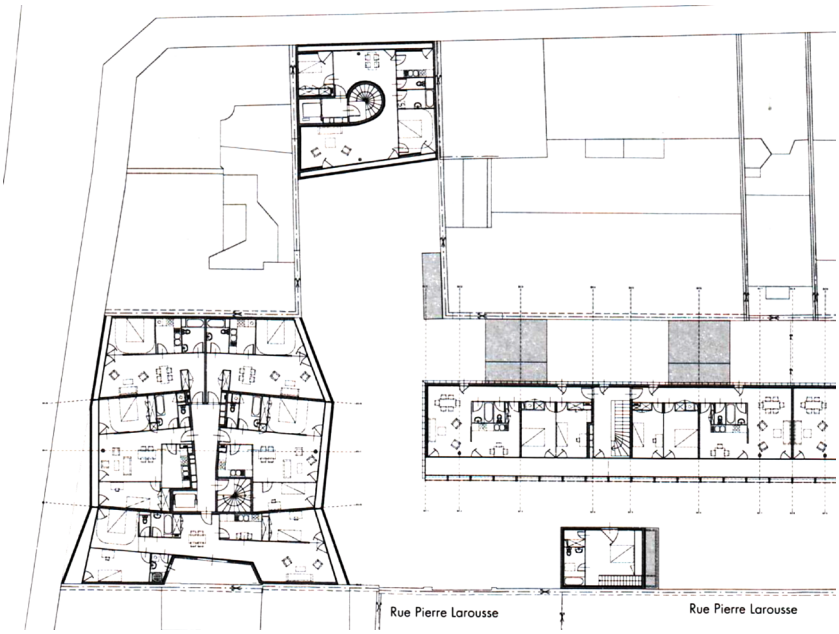


Imagem 81 e 82. Diferentes formas com o mesmo propósito. Arqs. Herzog & de Meuron, Rue des Suisses, Paris. Fotografia e planta.

A distribuição e orientação dos espaços, principalmente em planta, é dos fatores mais significativos em relação à eficiência energética dos edifícios, uma vez que as várias dependências revelam necessidades diferentes.

No caso nacional, pela localização no hemisfério norte, o sol percorre, de nascente a poente, a orientação sul, pelo que as dependências com necessidades de aquecimento como a sala de estar e os quartos devem ser expostos a tal orientação, de forma a beneficiar com a radiação solar para satisfazer as referidas necessidades.

As cozinhas, instalações sanitárias, e outras dependências de serviço, que não apresentam necessidades de aquecimento tão acentuadas, podem afastar-se da referida orientação e até servir como espaços de proteção daqueles que realmente necessitam da radiação solar, para que estes não sejam arrefecidos pela exposição a norte. A estes espaços damos o nome de espaços tampão, de acordo com Francisco Moita[7].

6. MOITA, Francisco, (2010). Energia Solar Passiva. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal. Pág. 44

A organização do espaço que cumpra estes requisitos pode revelar-se complexa, principalmente se existir uma preocupação cuidada com a ventilação. Isto impede que exista muita profundidade e que se acumulem lado a lado os compartimentos consoante as suas necessidades.

A forma, principalmente em edifícios de habitação plurifamiliar, é muito influenciada pela organização do espaço. O esquema de organização interior da proposta que estamos a desenvolver reflete exatamente isso. Sem deixar de cumprir os requisitos mencionados acima, a forma do edifício caracteriza-se por duas frentes alongadas, expostas a norte-sul. Embora se revele como um edifício de acesso vertical múltiplo, prescinde das suas potencialidades de profundidade com o objetivo de potenciar o input de radiação solar da frente mais favorável de exposição.

Imagem 83. Planta tipo do edifício de habitação social em Gemunde na Maia. Arq. João Álvaro Rocha.

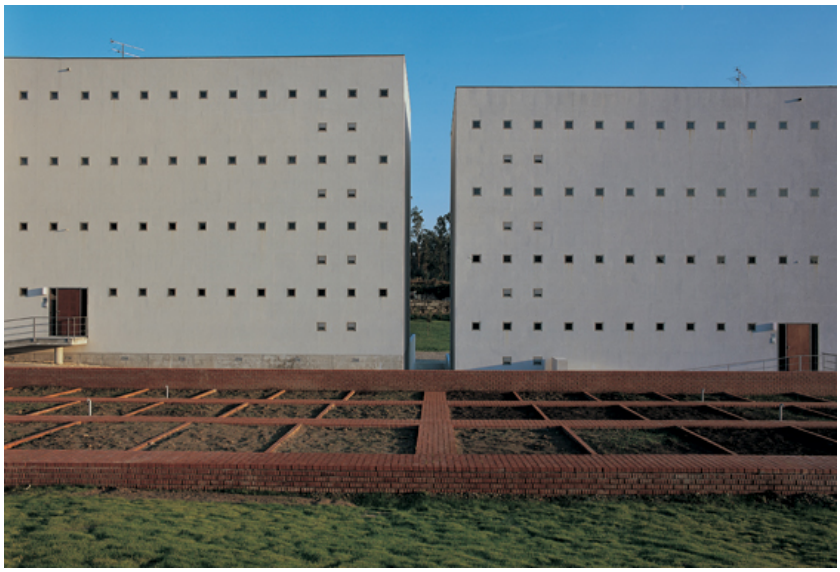


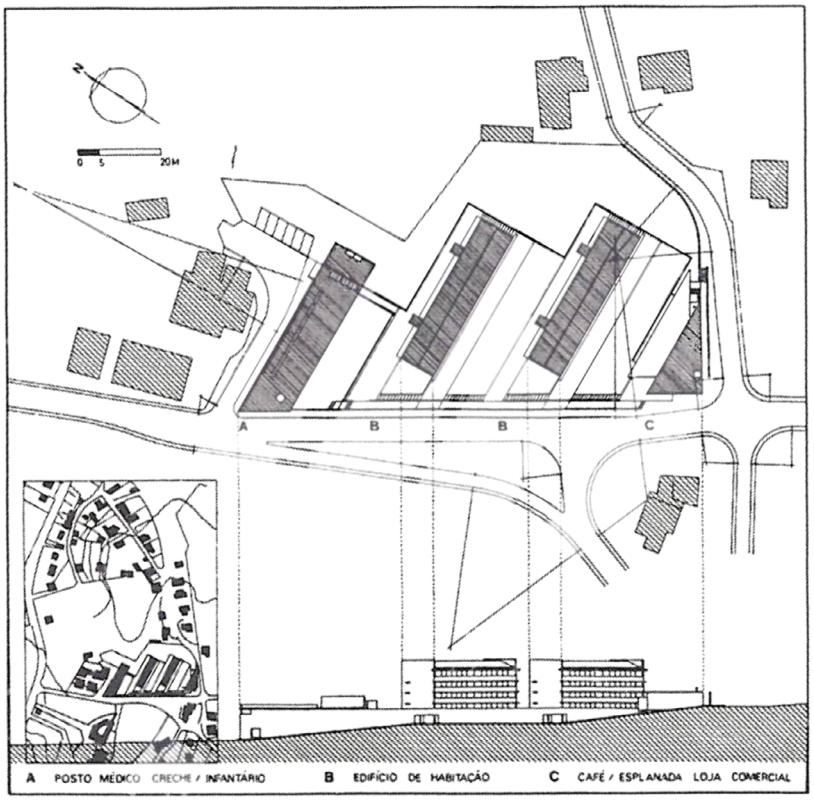
Imagem 84 e 85. Fachadas sul e norte do edifício de habitação social em Gemunde na Maia. Arq. João Álvaro Rocha.

O projeto de colaboração entre duas das maiores referências nacionais ao nível da arquitetura com princípios bioclimáticos, os arquitetos José Gigante e João Álvaro Rocha, em Gondifelos, na Maia, serviu de modelo de referência à concepção da proposta deste estudo, ao nível formal e de organização do espaço.

Consiste num agrupamento habitacional de interesse social, que demonstra a preocupação dos arquitetos pela relação do projeto com o ambiente que o envolve. Como é possível verificar nas peças desenhadas, o edifício apresenta uma forma compacta, com pouca profundidade, e aproveita a frente mais favorável, a sul, para localizar as principais dependências. Consequentemente, e como é possível verificar na imagem abaixo, as fachadas norte e sul desenvolvem uma composição muito diferente ao nível da fenestração, com os maiores vãos orientados a sul, protegidos do sol excessivo através de brise-soleils, e o mínimo de fenestração possível a norte, a fim de evitar perdas térmicas indesejadas.

A organização interior conta ainda com o desenvolvimento de uma zona tampão sobre a frente norte, onde se localizam as dependências secundárias como a cozinha, casas de banho, acessos e ainda um espaço flexível (no caso do T3), assim como o desenvolvido na proposta deste estudo.

Imagem 85. Fotografia fachadas norte e sul. Arqs. José Gigante e João Álvaro Rocha, em Gondifelos, Maia.



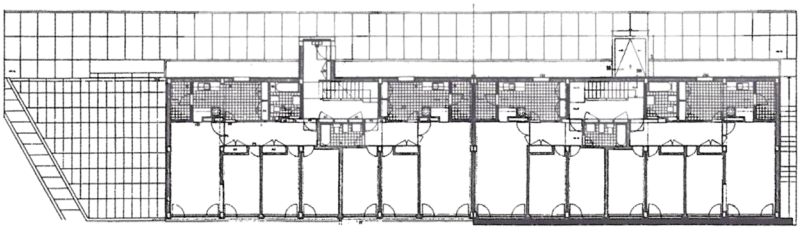


Imagem 87 e 88. Planta de implantação e planta de piso tipo. Arqs. José Gigante e João Álvaro Rocha, em Gondifelos, Maia.

A forma do edifício proposto deve a sua volumetria principalmente ao esboço referido anteriormente, na tentativa de dispensar um estudo urbanístico, que pouco acrescentaria ao discurso. Como podemos esclarecer ao longo da reflexão, o principal interesse desta postura arquitetónica consiste no aproveitamento da energia solar de forma passiva, em função da eficiência energética. Neste sentido, revela-se vantajoso elaborar uma forma compacta, com pouca profundidade, na tentativa de aproveitar a incidência solar no espaço e oferecer duas frentes a cada unidade de habitação.

A organização do espaço interior das diferentes habitações naturalmente concorre para a definição da forma volumétrica do edifício, principalmente quando este, tendo um carater social, tenta ser o mais eficiente possível na dimensão da área das várias dependências. Com tal condicionante em mente, e com as principais referências de projeto que temos vindo a evocar, desenvolve-se então a proposta de espaço interior que por sua vez tenta conciliar os padrões de espaço mínimo com as melhores orientações de organização do espaço em função da eficiência energética.

Pelos motivos expressos nos textos anteriores, existe ainda a necessidade de permear os espaços comuns, numa estratégia alargada de domínio do movimento do ar, o que por sua vez resulta na fragmentação do bloco inicialmente proposto no esboço, em quatro estruturas independentes, separadas pelos patamares de acesso às habitações.

O acesso aos edifícios, que fragmente os volumes, apresenta-se como uma estrutura independente, da qual faz parte um sistema de controlo solar que exploramos posteriormente. Tal separação vem garantir um tratamento de forma integral no que diz respeito ao isolamento térmico e anula a existência de pontes térmicas, como podemos verificar a seguir.

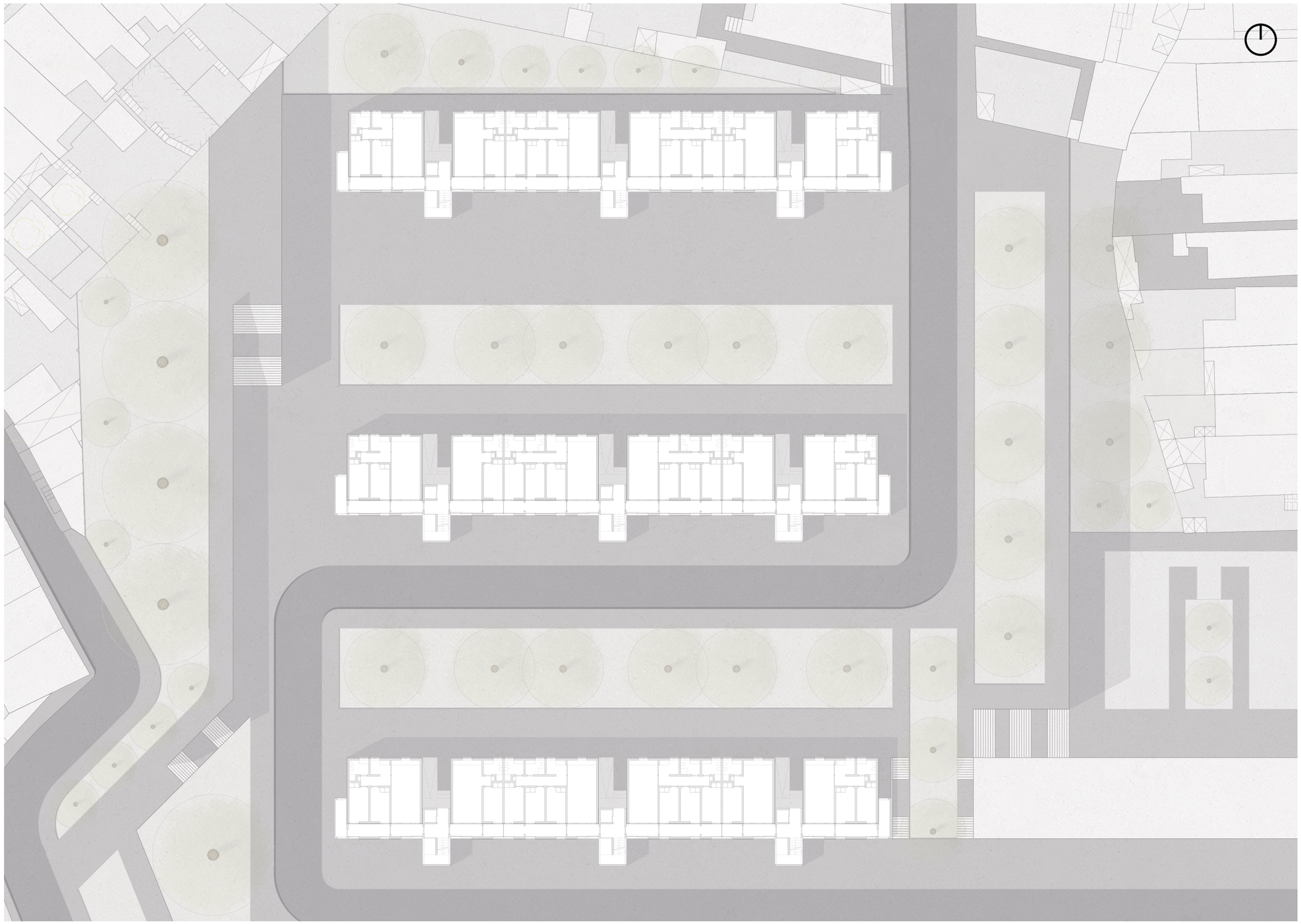


Imagem 89. Planta de rés do chão dos três primeiros edifícios. Esc. 1:500

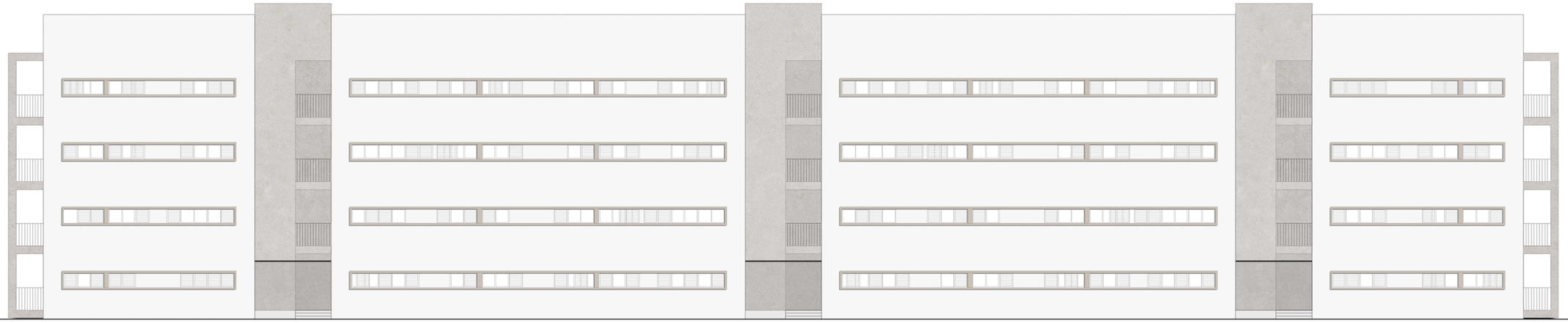
A proposta do edifício baseia-se então na fragmentação do mesmo em cinco estruturas independentes de dois tipos. O primeiro tipo consiste na aglomeração das habitações em quatro blocos distintos e o segundo consiste na fachada autoportante, sobre a qual se desenvolvem as várias entradas.

Esta estratégia permite que o primeiro tipo de estruturas, onde se localizam os espaços domésticos que realmente necessitam de proteção contra perdas térmicas, seja isolado de forma integral, sobre uma superfície reduzida. A separação destes em relação à fachada autoportante, que oferece uma extensão do espaço interior das várias dependências, anula a necessidade de pontes térmicas.

Com uma profundidade de cerca de 8m, as quatro estruturas referidas são compostas pela sobreposição de unidades de habitação. Como podemos verificar na planta seguinte, tal composição consiste na sobreposição de quatro unidades de habitação segundo as tipologias apontadas.

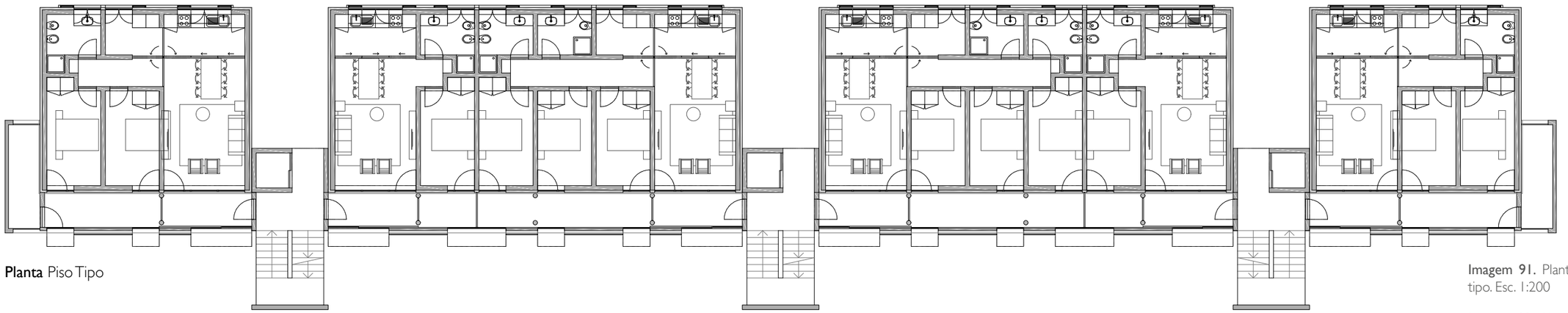
A organização do espaço das diferentes tipologias, por sua vez dividem-se em dois momentos distintos, que muito contribuem para a eficiencia dos principios térmicos propostos. O primeiro momento consiste na localização dos quartos e das zonas de estar junto à fachada sul, com vãos significativos para aproveitamento solar, enquanto o segundo consiste no desenvolvimento de uma zona tampão, junto à fachada norte, onde a fenestração é reduzida ao minimo e se localizam as depêndencias secundárias como a cozinha e as instalações sanitárias.

Consequentemente, tal esquema resulta numa composição de alçados muito diferentes da fachada norte para a fachada sul, o que costuma caracterizar muito este tipo de arquitetura, como podemos verificar nas referências apresentadas.



Alçado Norte

Imagem 90. Alçado Norte. Esc. 1:200



Planta Piso Tipo

Imagem 91. Planta do piso tipo. Esc. 1:200

Imagem 92. Alçado Sul. Esc. 1:200

Alçado Sul

3.3.1 Organização do espaço

Os fogos que constituem estes blocos, agrupam-se em tipologias combinadas de T1 e T3 nas duas estruturas do centro, e T2 nos topos, de forma a garantir as três tipologias mais procuradas no meio da habitação de interesse social. A proposta de organização do espaço é elaborada através de uma modulação afinada que começa com os módulos de 60x60cm dos equipamentos da cozinha, como conceito simbólico da necessidade.

Para além do desenvolvimento do espaço sobre tais medidas, existe ainda uma modulação tipológica que se pode verificar na planta. O espaço de estar, e a sua relação com a cozinha, representa um primeiro módulo que se repete em todas as tipologias, assegurando a utilização de toda a profundidade do espaço. Os quartos, por sua vez, são módulos desenhados sobre uma composição que responde às necessidades de localização dos compartimentos, e que tentam ao mesmo tempo responder às diferentes necessidades das tipologias numa vertente mais social.

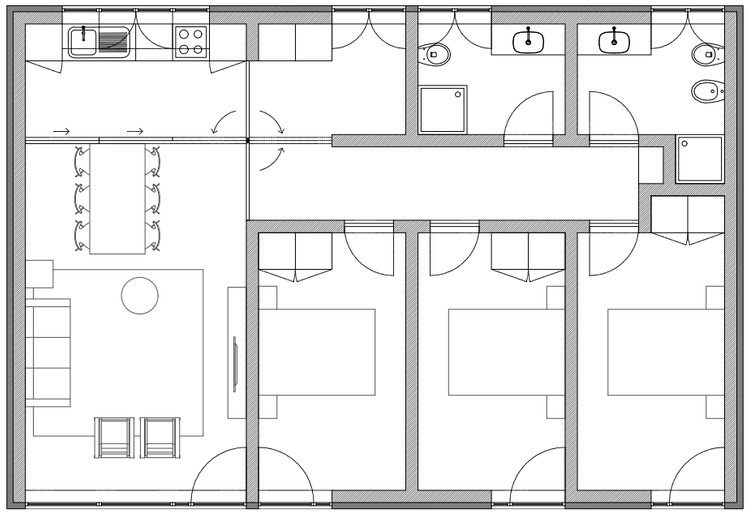
Verifica-se então que existem três módulos de quartos:

- o primeiro módulo consiste no quarto e numa instalação sanitária completa;

- o segundo dispõe de um espaço flexível que serve de transição entre as tipologias T1 e T2;

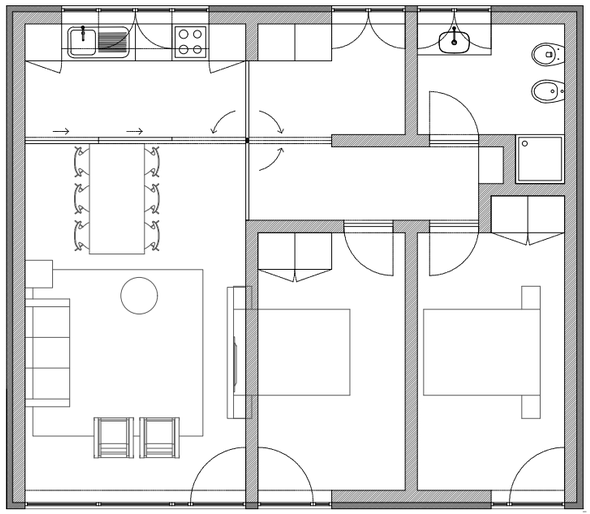
- e o terceiro apresenta outra instalação sanitária, menos equipada, que responde às necessidades familiares de um T3, que pode abrigar até seis habitantes.

Com tal flexibilidade de composição de tipologias, é possível fazer uma combinação de módulos consoante a necessidade social, sem perder as preocupações climáticas que compõem o projeto.



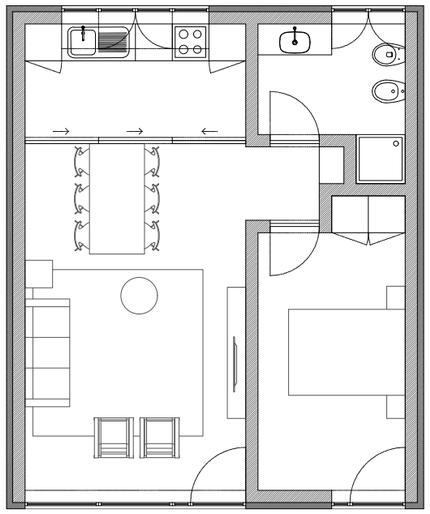
T3 = A + B + C + D

Planta T3. Soma de módulos



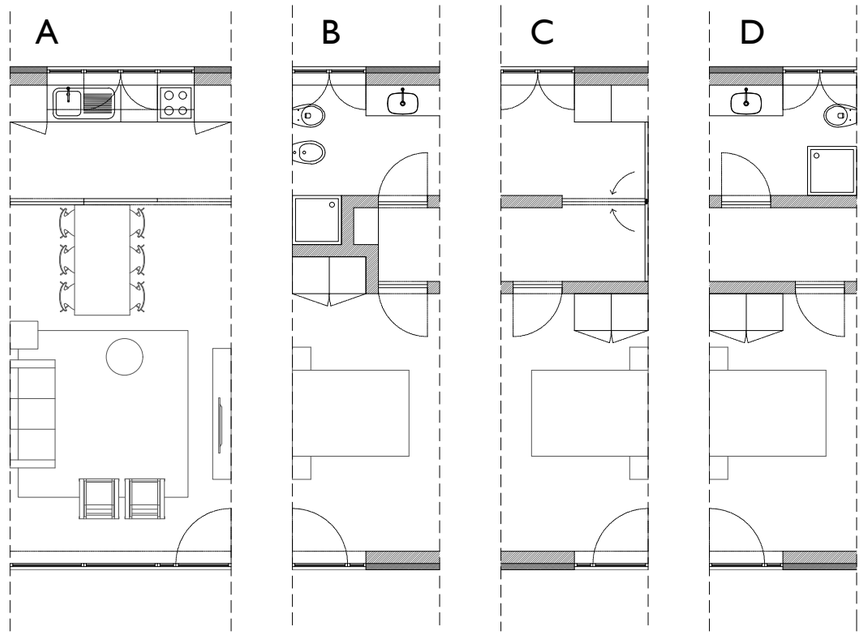
T2 = A + B + C

Planta T2. Soma de módulos



T1 = A + B

Planta T1. Soma de módulos



Planta módulos individuais

Imagem 93. Plantas tipo / módulo. Esc. 1:100

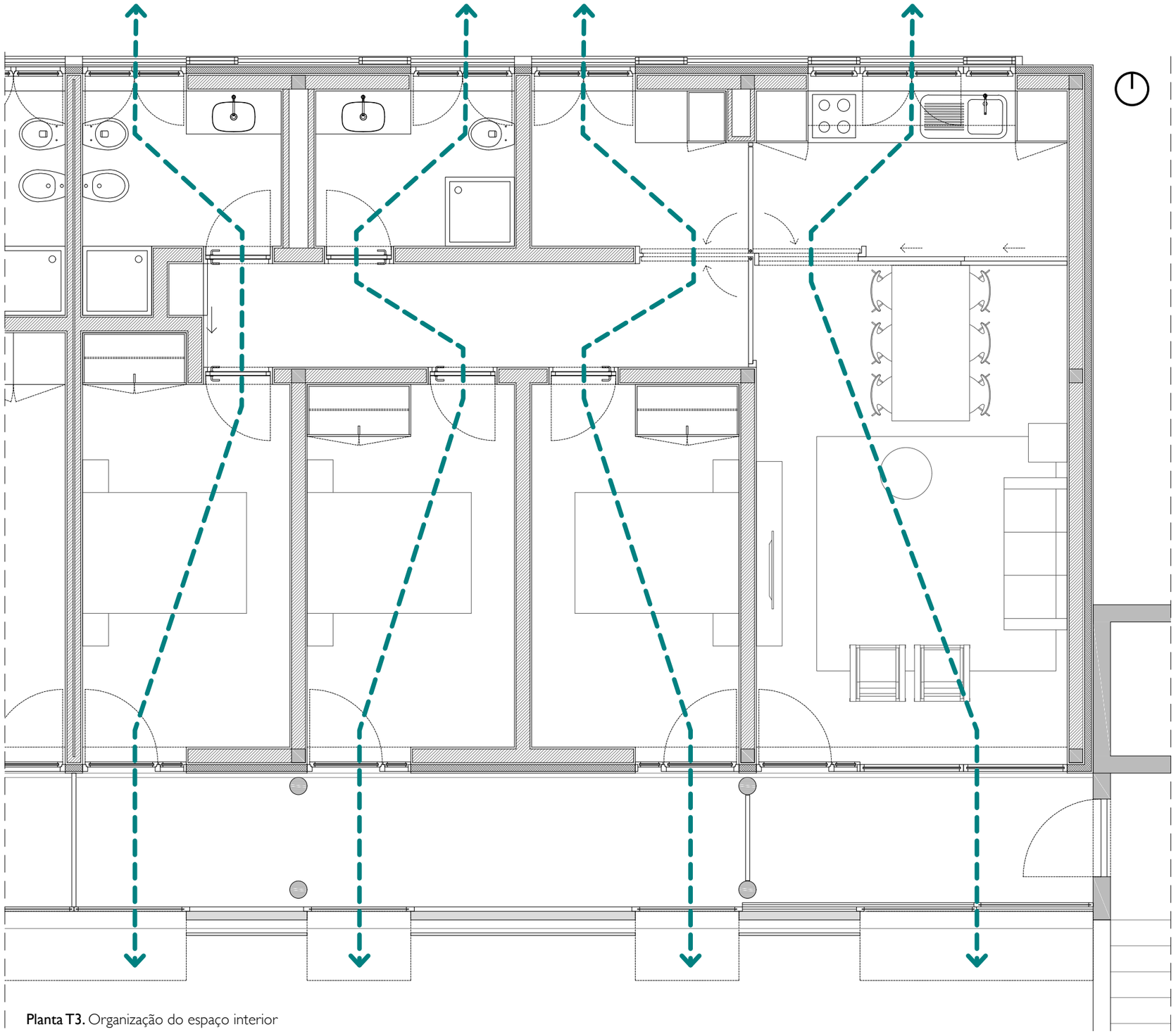
3.3.2 Ventilação

Aliado ao sistema de ventilação do espaço público por meio do domínio do movimento natural do ar, a ventilação do espaço doméstico aproveita a criação das diferentes zonas de pressão ao nível do espaço exterior para potenciar a ventilação natural dos espaços domésticos. Através do encaminhamento controlado do vento, no segundo momento da estratégia geral de domínio do movimento do ar, no sentido perpendicular ao edifício, o espaço doméstico, através do posicionamento das janelas, assegura a ventilação cruzada de todas as dependências.

Tal estratégia de ventilação apenas é possível pelo alcance das duas frentes por parte do espaço interior, de forma a assegurar uma ventilação natural integral cruzada de todos os espaços. Contudo, o espaço proposto, assim como qualquer outro deste tipo, é compartimentado, o que pode condicionar o percurso do ar ao longo das diferentes dependências. De forma a resolver tal condicionamento, a localização das janelas e das portas interiores pode ser uma ferramenta muito útil à eficácia da estratégia.

Nesse sentido, propomos trabalhar com as duas linhas de janelas e as duas linhas de portas interiores, no corredor, que através do desfasamento da sua posição, obrigam o ar a percorrer o espaço sobre um sentido diagonal, na tentativa de proporcionar uma renovação do ar integral, sem bolsas de retenção de ar, onde a brisa não passe.

Uma vez que a renovação do ar é um dos principais fatores de salubridade do espaço habitado, o projeto com princípios bioclimáticos deve assegurar tal permeabilidade. Embora se desenvolva um espaço exterior na galeria do sistema de controlo solar que à partida pode condicionar a estratégia de ventilação, o habitante, quando informado, será sempre capaz de assegurar a eficácia da estratégia, que assim como em qualquer outro projeto de habitação, pode ser anulada através da ausência de manipulação da fenestração.



Linhas de
movimento do ar

Planta T3. Organização do espaço interior

Imagem 94. Planta T3 / Esquema de ventilação natural. Esc. 1:50

3.4 SISTEMA DE CONTROLO SOLAR

Em relação aos constituintes do edifício, de forma a otimizar o desempenho do sistema de aproveitamento da energia solar de forma passiva, o arquiteto deverá considerar as opções da sua construção material, assim como os dispositivos que podem capacitar o mesmo de uma resposta dinâmica às variações a curto e a longo prazo das condições climáticas.

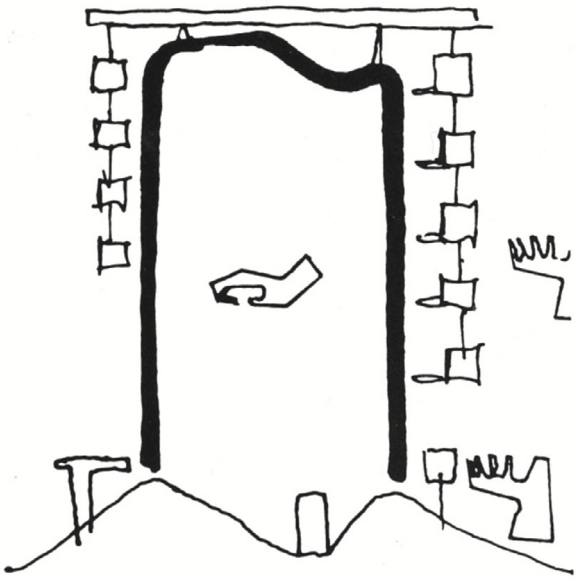
As diversas escalas, desde a implantação à materialidade do edifício, relacionam-se numa postura cooperativa que tenta oferecer um equilíbrio aos balanços térmicos do edifício. Especialmente nos casos de configurações climáticas temperadas, é muito importante dominar as amplitudes térmicas nos seus dois tempos de produção, diário e sazonal.

O importante neste tipo de clima consiste em controlar, de uma forma muito afinada, as diferenças térmicas entre os períodos de necessidade de aquecimento e os períodos de necessidade de arrefecimento, sendo que será partir dos constituintes materiais dos edifícios e dos dispositivos de controlo solar que se conseguirá dominar as referidas amplitudes.

Sobre estes moldes, e a todas as escalas, surge um modelo de arquitetura sustentável, com uma consciência climática e ecológica muito forte, que Francisco Moita caracteriza como "*uma Arquitetura dialogante, prática* e *funcional*"[8].

7. MOITA, Francisco, (2010). Energia Solar Passiva. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal. Pág. 54

A abordagem do arquiteto sobre este tipo de arquitetura não requer um conhecimento científico dos fenómenos energéticos da térmica, como se de uma especialidade de engenharia se tratasse, mas implica o desenvolvimento de uma série de princípios que asseguram, desde cedo, que o projeto de arquitetura colabore com o clima para uma otimização do sistema que garante o conforto térmico no interior dos seus espaços.



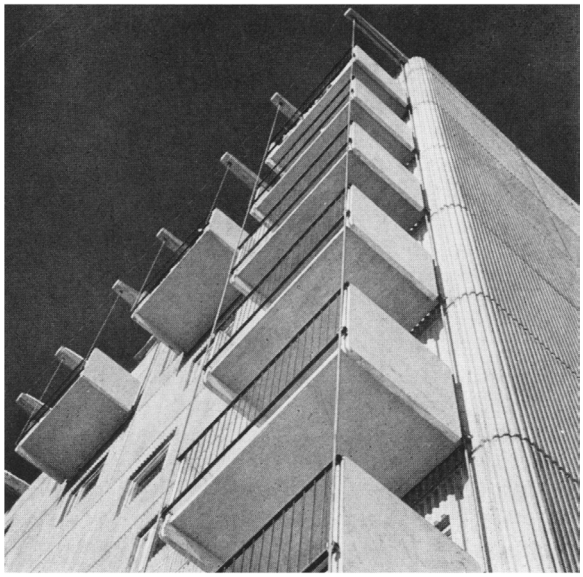


Imagem 95 e 96. Esquema conceptual e fotografia das varandas do edifício de habitação em Lassaskog, Växjö, Arq. Ralph Erskine.

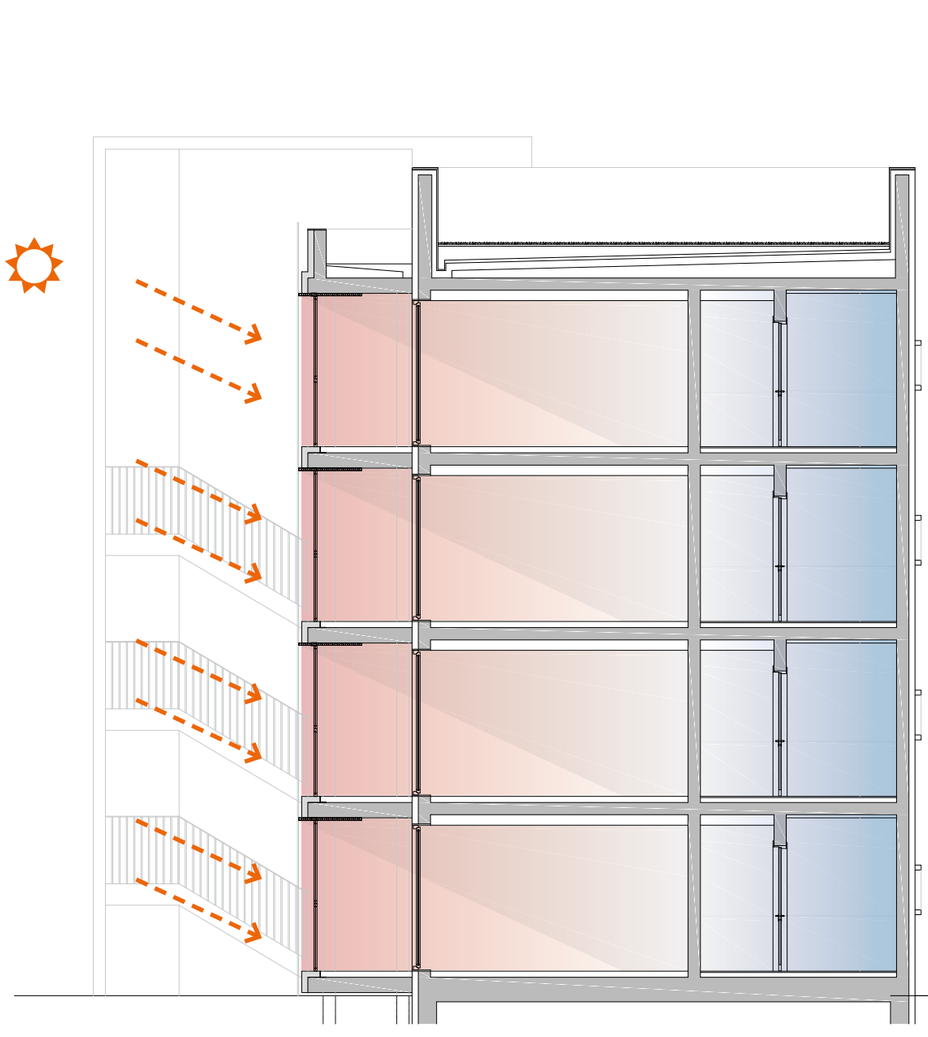
Com o intuito de dominar a incidência solar sobre o edifício, de modo a aproveitar os benefícios da radiação, propomos um sistema que se desenvolve sobre a fachada sul, com um espaço intermédio entre o interior e o exterior, onde se localizam uma série de dispositivos de controlo da referida exposição solar.

A fachada portante aqui proposta consiste num sistema de controlo solar, com dispositivos de adaptação climática que respondem às necessidades térmicas dos diferentes tempos de produção. A curto prazo, esta solução tenta dominar as amplitudes térmicas diárias, enquanto a longo prazo, sobre o tempo de produção sazonal, a estrutura dispõe de sistemas que adaptam os níveis de eficácia do aproveitamento consoante as necessidades térmicas.

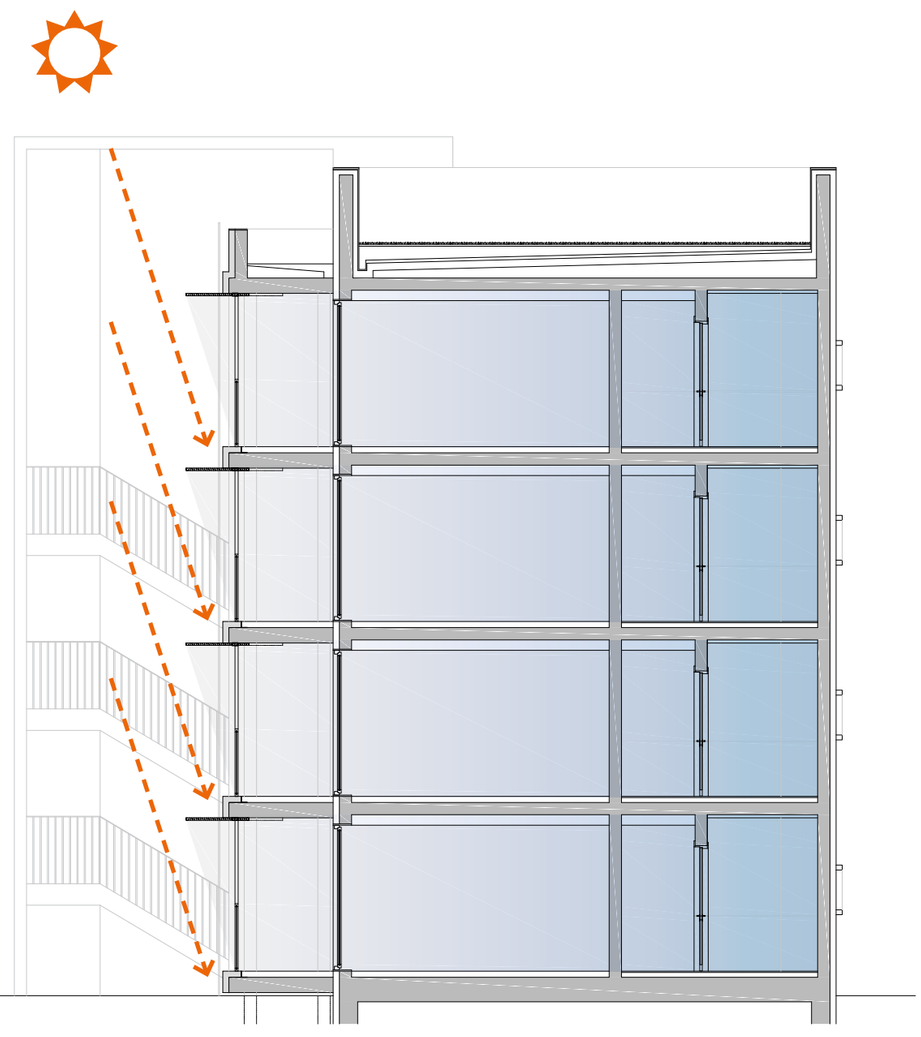
Esta estrutura é materializada por um esqueleto de betão, com lajes complanares aos pisos interiores das habitações. O alçado é composto por uma série de janelas com caixilharia de correr, que por sua vez se escondem atrás dos segundos elementos que compõem a fachada. Estes segundos elementos, opacos, são peças pré-fabricadas de betão.

O sistema pretende ser capaz de controlar o fluxo de calor, através da manipulação do habitante, que dispõe de uma série de mecanismos simples que garantem um maior conforto térmico no espaço interior. Para além de servir de hall de entrada ou de varanda exterior aos quartos, a fachada autoportante aproveita os fenómenos naturais de fluxo de calor por condução, convecção e radiação para produzir calor durante a estação de aquecimento.

O desenvolvimento de uma fachada autoportante de controlo climático tem como principal referência os princípios desenvolvidos na obra de Ralph Erskine, com a sua procura constante pela ausência de pontes térmicas na extensão do espaço interior para o exterior através de varandas.



Corte 1. Sistema de controlo solar durante o período de inverno



Corte 2. Sistema de controlo solar durante o período de verão

Imagem 97. Corte Geral / Esquema de estratégias bio-climáticas. Esc. 1:100

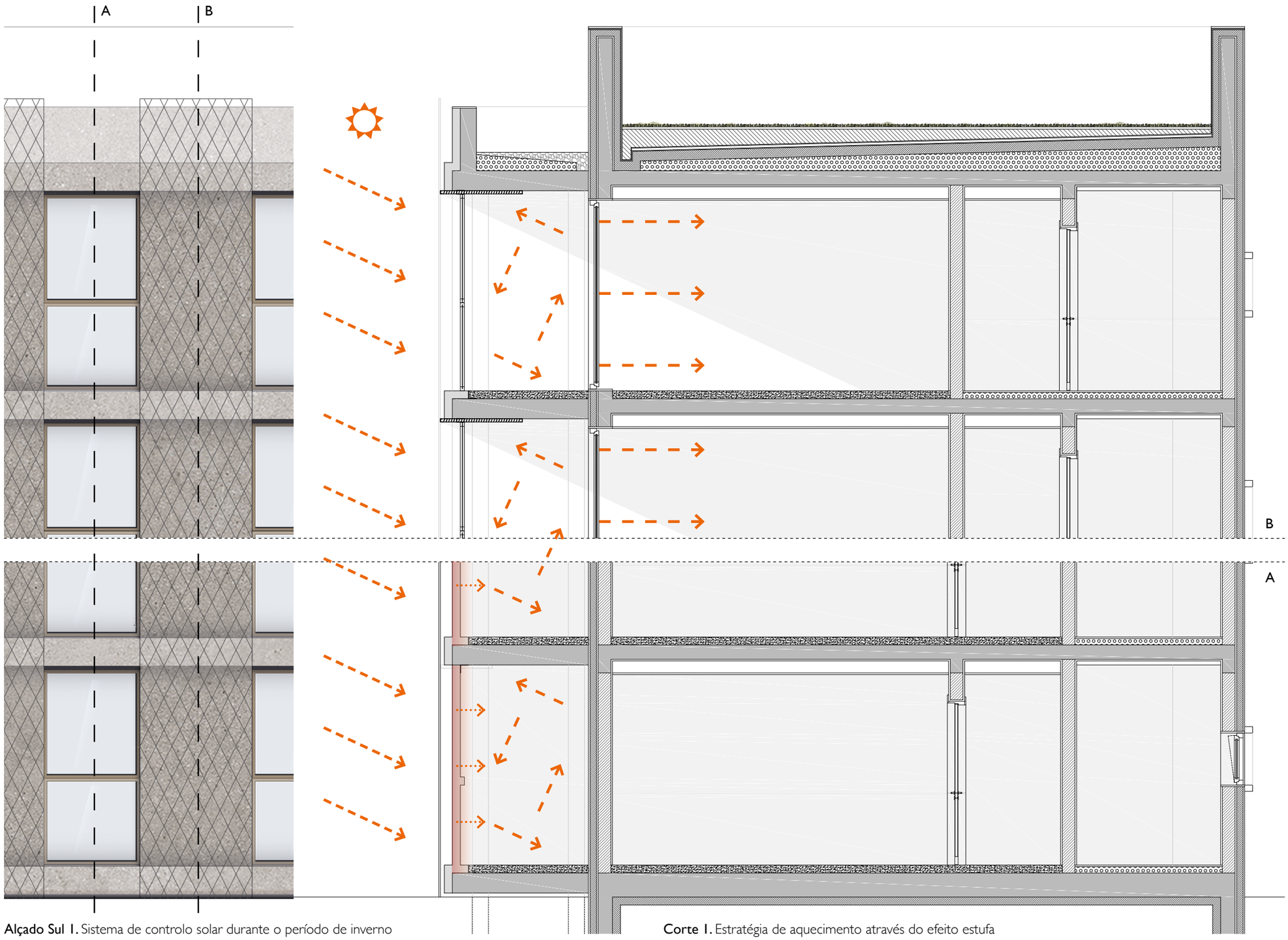
3.4.1 Ganhos térmicos no inverno

Como pudemos constatar na identificação das necessidades térmicas do local, o principal objetivo deste tipo de configuração climática consiste no aquecimento durante a estação de inverno. Nesse sentido, e de forma a assegurar uma necessidade significativamente reduzida em recorrer a meios ativos para o aquecimento do espaço doméstico, a fachada autoportante é desenhada de forma a oferecer ao habitante um maior controlo sobre a incidência solar no espaço.

Para a elaboração do sistema, optamos por desenvolver duas estratégias de aproveitamento solar e duas de proteção solar, de forma a evitar o sobreaquecimento.

A principal forma de aquecimento que tal sistema proporciona consiste no aproveitamento do efeito estufa. A radiação solar que incide, através do vidro, neste espaço, sob a forma de ondas curtas, aquece tanto o ar como as superfícies do mesmo. O vidro, é um material particular em relação às ondas eletromagnéticas que transportam o calor, e o sistema proposto tenta aproveitar tal propriedade. A emissão de radiação dos materiais que compõem as superfícies desta galeria, ao ser emitida sob a forma de ondas longas, não consegue penetrar o vidro, pelo que o calor se acumula.

A manipulação das janelas dos vãos interiores pode então aproveitar esse calor acumulado e aquecer o espaço através da transmissão de calor por convecção. O ar mais quente terá sempre tendência a aquecer o ar mais frio, seja este interior ou exterior, na galeria. Caso não se pretende aproveitar este calor, basta abrir a janela exterior, e deixar escapar as ondas longas. Para além disso, ao duplicar a fachada e afastar o contacto da primeira com o ambiente exterior, a existência desta galeria exterior minimiza as perdas de calor por condução, uma vez que a diferença de temperatura entre o interior e o exterior da primeira parede é significativamente menor.



Alçado Sul 1. Sistema de controlo solar durante o período de inverno

Corte 1. Estratégia de aquecimento através do efeito estufa

Imagem 98. Corte pela fachada portante durante o período de inverno. Esc. 1:50

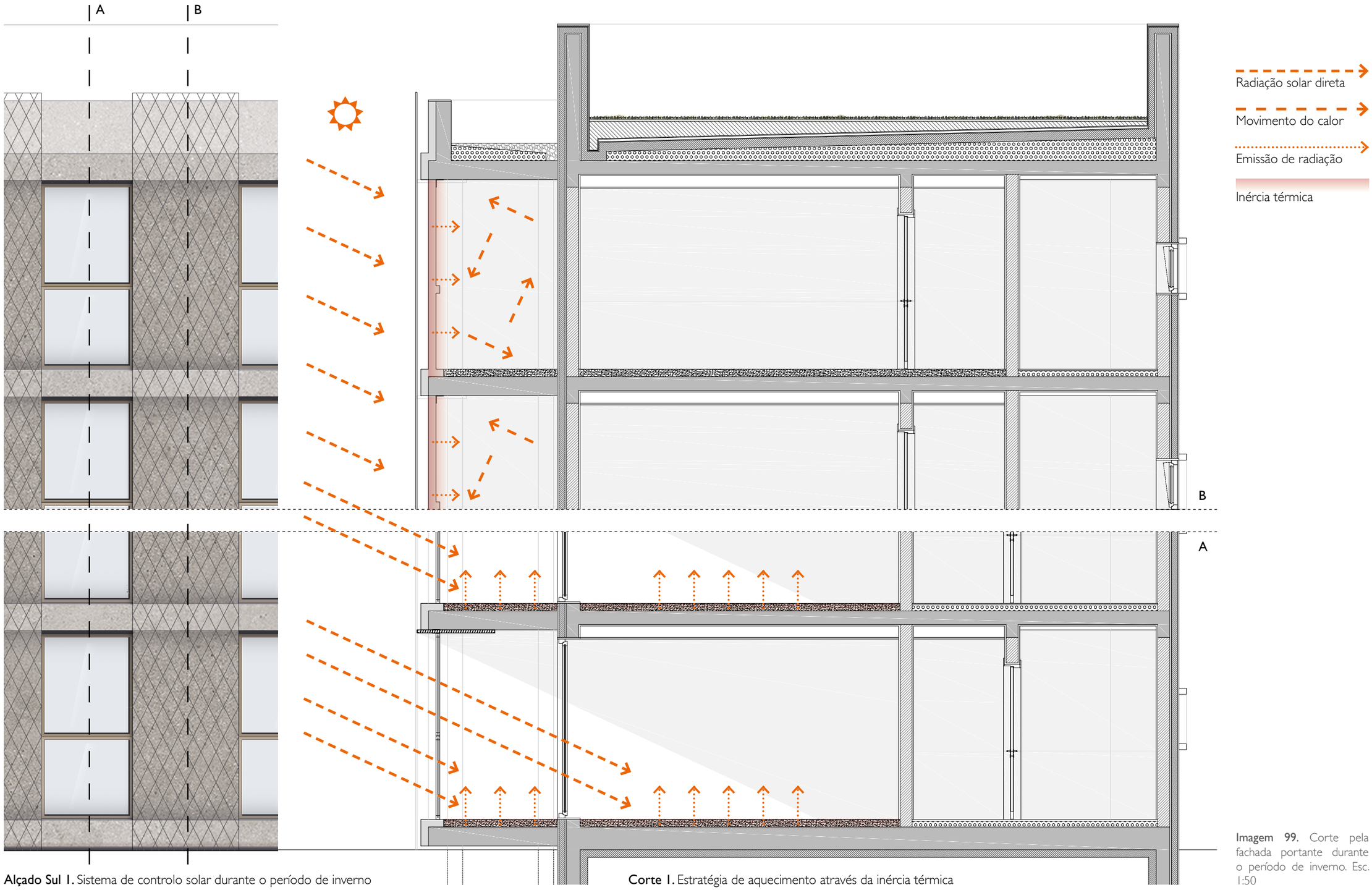
Para além do aproveitamento do efeito estufa, propomos ainda que o edifício seja materializado com materiais de alta inércia térmica em elementos estratégicos.

O primeiro elemento que deve ser composto por um material com alta inércia térmica é a peça pré-fabricada de betão que, em conjunto com as janelas de correr, compõe o alçado exterior da fachada autoportante. Essa peça deve ter um acabamento em tom escuro, de forma a potenciar as características de absorção do material. Tal elemento, se for dotado das características mencionadas, será capaz de armazenar o calor até que se verifiquem condições de necessidade de aquecimento do ar interior da galeria. Assim, a existência de ar quente no espaço da galeria seria reforçado e poderia ser posteriormente aproveitado para o aquecimento do espaço interior, através do fenómeno de transmissão de calor por convecção.

De forma mais direta, o segundo elemento que deve ser dotado de características de alta densidade, para consequentemente revelar alguma inércia térmica, é o pavimento interior dos fogos.

O referido pavimento, que na proposta se estende até ao limite da zona tampão a norte, deve ser composto por um material de alta densidade como por exemplo, uma betonilha armada com endurecedor de superfície, que se revela como uma solução económica e eficaz para a solução de inércia térmica pretendida, uma vez que o betão tem uma capacidade térmica e uma densidade favoráveis a este tipo de estratégia.

A radiação solar, ao incidir diretamente sobre este pavimento, aquece-o e o calor é armazenado. Caso a temperatura do ar no espaço interior desça, como pode acontecer à noite, esse calor é libertado e aquece novamente o espaço, de forma a restabelecer o equilíbrio térmico assegurado durante o dia.



Alçado Sul 1. Sistema de controlo solar durante o período de inverno

Corte 1. Estratégia de aquecimento através da inércia térmica

Imagem 99. Corte pela fachada portante durante o período de inverno. Esc. 1:50

3.4.2 Proteção solar no verão

Contudo, uma vez que se trata de uma configuração climática temperada, o edifício deve apresentar alguma flexibilidade no aproveitamento da radiação solar, uma vez que este tipo de clima apresenta diferentes necessidades ao longo do ano, como já pudemos verificar.

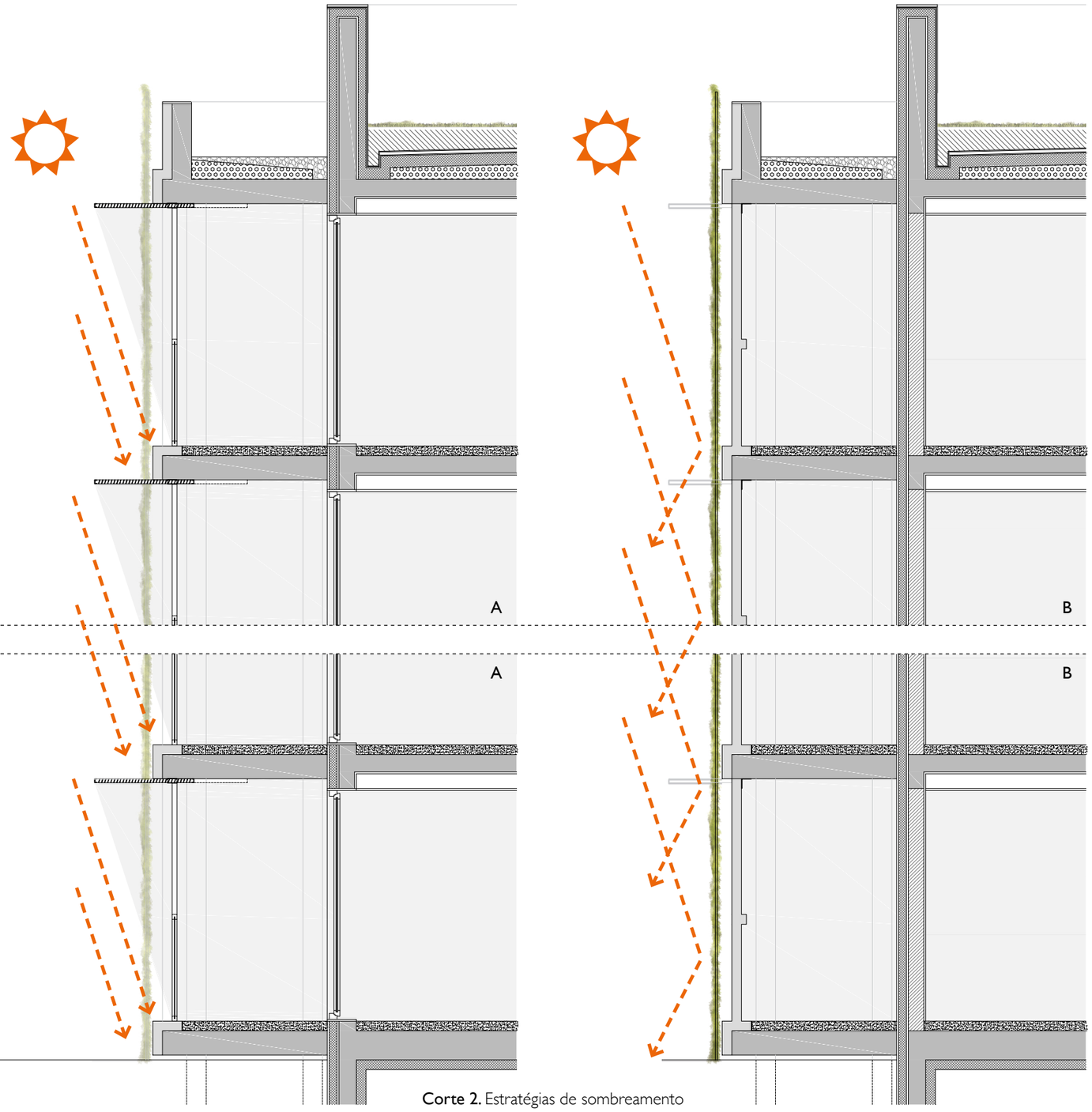
Nesse sentido, para além das estratégias de aquecimento, que se desenvolvem a partir da exposição solar de alguns elementos, a proteção dos mesmos quando não existe a necessidade de aquecimento é imperativa, uma vez que a possibilidade de sobreaquecimento do espaço pode pôr em causa o conforto térmico que pretendemos aplicar ao espaço.

De forma a assegurar tal proteção solar durante a estação de arrefecimento, a mesma fachada autoportante contém duas estratégias que anulam os efeitos desenvolvidos no texto anterior.

A primeira estratégia consiste na adoção de um sombreador. O brise-soleil é um dispositivo de controlo solar que pode ser desenvolvido das mais diversas formas, como podemos constatar nos exemplos. Na nossa proposta, o brise soleil é um elemento flexível que surge na parte superior do caixilho exterior. Tem uma extensão de 65cm para além do plano da fachada, o suficiente para impedir a incidência solar sobre a galeria durante a época mais quente do ano, onde o sol percorre o céu numa posição mais alta, a cerca de 72º. De referir que este pode ainda ser recolhido durante a estação de inverno para não perturbar a incidência solar direta e difusa que pode ser tão útil nessa altura.

A segunda estratégia visa proteger a superfície escura das peças pré-fabricadas de betão através do desenvolvimento de uma rede exterior que suporta o crescimento de uma trepadeira de folha caduca, que diminui a incidência solar sobre o mesmo plano, e consequentemente anula a capacidade térmica do mesmo elemento.

Alçado Sul 1. Sistema de controlo solar durante o período de verão



Corte 2. Estratégias de sombreamento

Imagem 100. Corte pela fachada portante durante o período de verão. Esc. 1:50

Este tipo de estrutura, quando idealizada para controlar a incidência solar, pode ser utilizada em projeto de reabilitação, na tentativa de criar um ambiente termicamente mais confortável.

Para que tal seja possível, devem verificar-se as condições de implantação favoráveis enunciadas no início deste capítulo, como a orientação e a exposição solar total da fachada sul, de forma a tirar o maior proveito possível do sistema.

A obra dos arquitetos Lacaton & Vassal contém sempre a ideia climática no seu discurso e demonstra de que forma a aplicação deste tipo de sistema pode transformar edifícios de habitação que carecem de tais preocupações. A abordagem consiste na reciclagem dos edifícios, em vez da sua demolição, através do tratamento da envolvente exterior e do desenvolvimento de uma estrutura independente sobre a orientação mais favorável, com o objetivo de ampliar o espaço e criar um ambiente mais confortável.

A estratégia pode definir novas tipologias e criar novos ambientes sociais. A preocupação com a térmica ou a ventilação ficam explícitos no desenho e servem de motivos ao desenvolvimento da estrutura que serve de fachada portante como um sistema de controlo solar.

A combinação dos princípios climáticos e sociais podem assim potenciar um novo modelo da habitação, que tanto desenvolve o espaço arquitetónico, como afina as estratégias bioclimáticas que podem ser adicionadas a qualquer edificio, se devidamente estudadas.

Nas imagens seguintes, podemos ver um projeto de reabilitação dos arquitetos Lacaton & Vassal, em Bordéus, França. Este é um dos melhores exemplos de aplicação dos principios e das estratégias que caracterizam a proposta deste estudo, como argumento da eficácia do sistema sobre um projeto construído.

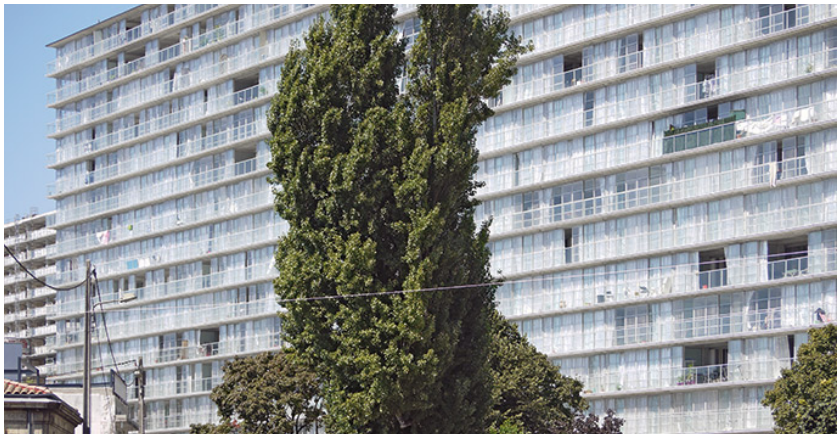


Imagem 101. Fotografias da fachada sul. Arqs. Lacaton & Vassal em Bordéus, França.

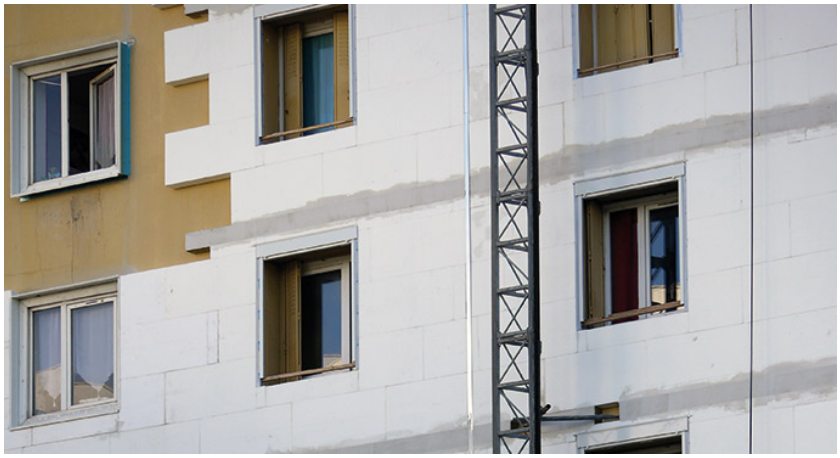


Imagem 102. Fotografias do tratamento da envolvente exterior. Arqs. Lacaton & Vassal em Bordéus, França.

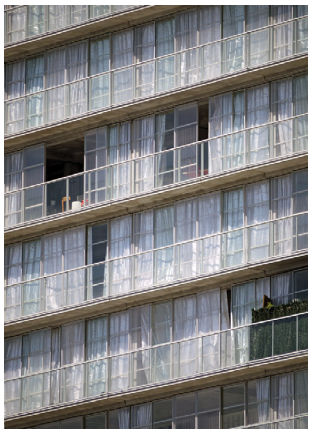


Imagem 103 e 104. Fotografias da fachada autoportante. Arqs. Lacaton & Vassal em Bordéus, França.

3.5 EFICÁCIA DO SISTEMA

Segundo Francisco Moita, tratar a envolvente exterior do edifício influencia significativamente a eficiência energética do mesmo durante o período de uso[9]. A aplicação de isolamentos térmicos nos principais elementos constituintes do edifício, como paredes pavimentos e coberturas, faz com que as perdas térmicas para o exterior sejam reduzidas e controladas, o que pode ser muito útil para dominar as necessidades de aquecimento do habitante.

8. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 54

Como já exploramos anteriormente, os materiais de isolamento térmico são materiais cujas características físicas oferecem ao material uma condutibilidade reduzida, pelo que atrasam as trocas térmicas entre as duas faces do mesmo.

Francisco Moita considera um material de isolamento eficaz quando este revela valores de condutibilidade inferiores ao da madeira, que varia entre 0,13 W/mK e 0,17 W/mK[10]. No entanto, quanto mais reduzido for este valor, melhor é a qualidade de isolamento do material, na medida em que oferece uma maior resistência ao fluxo de calor que o tenta atravessar.

9. ibidem, pág. 55

Este pode ainda servir para apontar o principio de sustentabilidade ecológica muito importante a este tipo de abordagem arquitetónica. A importação de materiais, como por exemplo, o poliestireno extrudido, que se revela muito comum entre as nossas construções, pode contribuir de forma significativa para as emissões de GEE, através da sua produção e do seu transporte.

Revela-se assim importante encontrar soluções alternativas de isolamento, que por falta de produção no nosso país, tenham um impacto ambiental muito menor. A utilização de cortiça ou aglomerados de cortiça podem ser uma solução muito interessante. Não só por ser produzida em Portugal, mas como solução alternativa cuja produção em si, revela valores muito menos expressivos na emissão de gases poluentes.

Em relação aos principios de tratamento da envolvente exterior do edifício, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios prevê uma avaliação, através do valor U, na tentativa de apurar o coeficiente de transmissão térmica superficial da parede composta que materializa as fachadas[11].

Este valor reflete a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que este separa, numa relação delicada entre as resistências térmicas das camadas e as resistências térmicas superficiais.

O cálculo do valor U de um elemento da envolvente depende de vários fatores, como por exemplo, a semelhança nas características das camadas que compõem o elemento construtivo ou a existência de caixas de ar, dependendo do grau de ventilação das mesmas[12]. Segundo o manual de apoio à aplicação do RCCTE, do INETI, para o cálculo dos valores U necessários devem utilizar-se os métodos propostos na norma europeia EN6946[13]. O anexo VII do RCCTE indica ainda os valores de referência a adotar nas situações mais correntes: fachadas, pavimentos e coberturas.

Ao arquiteto, a investigação de boas práticas e de apuramento das qualidades e vantagens dos materiais que compõem a fachada pode ser muito útil para se conseguir satisfazer as condições previstas no regulamento. Contudo, o principal pricipio a reter consiste no revestimento integral da envolvente exterior, pelo exterior, com soluções que evitem reduzam as perdas térmica, e mais importante, que anulem as pontes témicas.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) elaborou uma publicação que ajuda a desenvolver as soluções mais comuns segundo os valores de condutibilidade e resistência térmica dos materiais mais correntes na construção em Portugal[14].

10. INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE.* Ineti, Lisboa, 2006. pág. 25

11. idem.

12. idem.

13. idem.

De modo a garantir a eficácia do sistema, o edifício deve ser isolado em todo o seu perímetro, com exceção da fenestração, que pela sua qualidade de transparência, é tratada de outra forma, que exploraremos mais à frente.

O referido isolamento integral do edifício começa desde logo pelo tratamento das perdas de calor a que o mesmo está sujeito em relação ao terreno[15]. Embora estas trocas térmicas sejam diferentes daquelas se produzem entre o edifício e a atmosfera, pela sua amplitude menor, devem ser consideradas, na medida em que a referida amplitude é mais constante. Assim, a aplicação do isolamento na parte enterrada do edifício torna-se particularmente útil para reduzir o fluxo de calor entre o terreno e o interior do edifício, principalmente se o terreno for húmido, o que aumenta os seus níveis de condutibilidade.

14. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 55

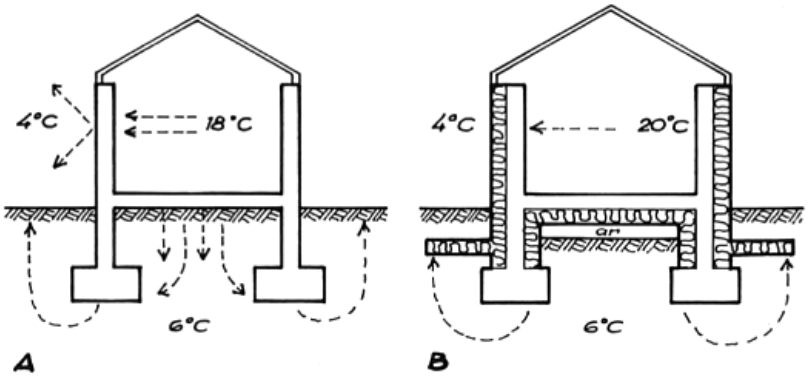


Imagem 105. A aplicação no terreno de material isolante contribui para uma redução significativa das perdas energéticas do edifício pela estrutura.

Em relação às trocas térmicas entre o edifício e a atmosfera, os elementos da envolvente do edifício a considerar são os restantes: paredes exteriores e cobertura. O isolamento adequado das paredes exteriores de um edifício é determinante para a manutenção da temperatura interior a níveis confortáveis, na medida em que reduz significativamente as perdas de calor para o exterior, e evitam condensações nas paredes interiores, que podem ser muito prejudiciais à saúde do habitante, quando as temperaturas exteriores são reduzidas[16].

15. ibidem, pág. 56

Em relação à temperatura, qualquer material pode ser utilizado para dominar as trocas térmicas entre o interior e o exterior, numa relação íntima entre espessura do elemento construtivo e as qualidades de condutibilidade do material. Contudo, os materiais mais comuns que não apresentam as características físicas dos materiais de isolamento térmico, por não apresentarem os mesmo valores de condutibilidade terão sempre necessidade de uma maior espessura para que sejam eficazes. Os materiais isolantes devolvem assim a redução de espessura à parede, pela sua relação otimizada entre espessura e condutibilidade.

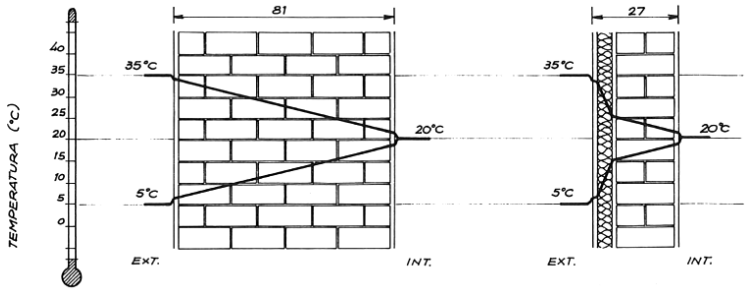


Imagem 106. Representação esquemática das linhas de temperatura (verão e inverno) em duas paredes de igual resistência térmica, sem e com isolamento. A utilização do material isolante permite a redução de espessuras desnecessárias.

É importante ainda referir que para um isolamento integral do edifício, o material deve ser aplicado pelo exterior, onde naturalmente encontram o menor número possível de interrupções, e consequentemente o menor número de pontes térmicas, abordadas no ponto seguinte. Para além disso, e não menos importante é o facto de que a aplicação pelo exterior protege o núcleo da parede contra as amplitudes térmicas, o que pode ser muito importante para a manutenção da qualidade da parede[17].

16. idem.

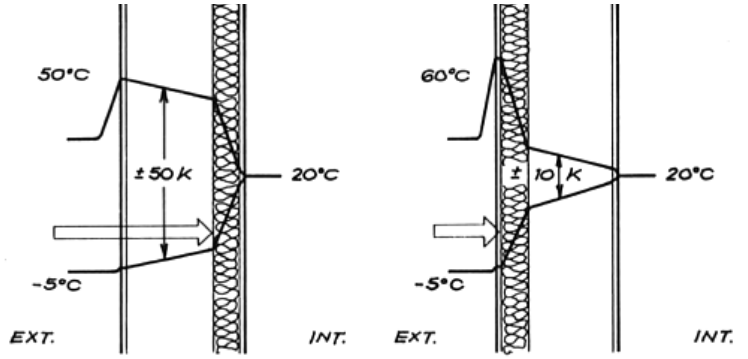


Imagem 107. O material isolante deve aplicar-se sempre do lado exterior da parede, a fim de se conseguirem menores amplitudes na parede, com menor deterioração do material e uma maior massa de acumulação térmica interior.

As referidas pontes térmicas encontram-se em locais onde existe uma interrupção do isolamento térmico, principalmente nas fachadas, quando a projeção das lajes estruturais ultrapassa o plano do isolamento por exemplo[18]. Pela continuidade do referido elemento construtivo, verifica-se uma exposição do mesmo à atmosfera exterior, que por sua vez atua sobre o material que o compõe. Como este apresenta valores de condutibilidade superiores ao do material de isolamento, conduz de forma mais eficaz a temperatura para o interior. Este cenário pode ser evitado pela transformação do elemento construtivo de forma a não interromper o desenvolvimento integral do plano de isolamento térmico.

17. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 58

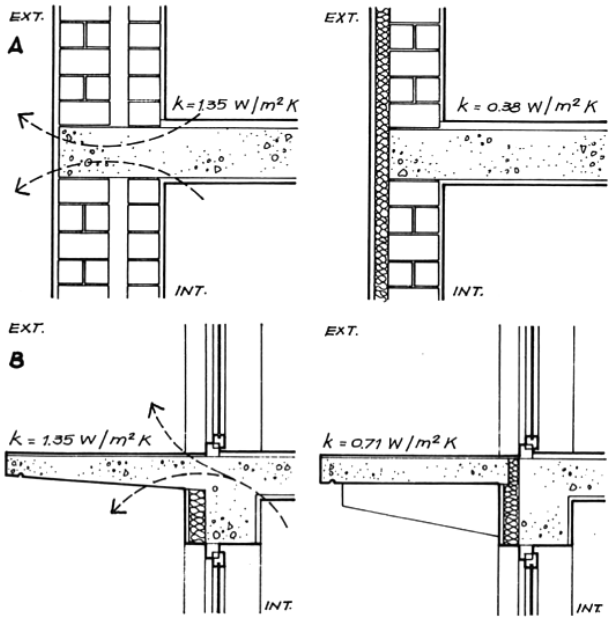


Imagem 108. A caixa de ar não só não impede a formação de pontes térmicas, como reduz a massa de acumulação térmica interior, o que não se verifica com a aplicação de material isolante exterior (A) Em lajes de varandas também se consegue anular importantes pontes térmicas mediante a utilização de material isolante e apoio sobre consola (B).

A cobertura, por sua vez, é o elemento do edifício que se encontra mais exposto às amplitudes térmicas do exterior, na medida em que durante o dia está diretamente exposta aos efeitos da radiação solar, e à noite, quando a temperatura exterior é muito reduzida, é por onde o edifício mais perde calor[19]. O isolamento deste elemento do edifício revela-se assim como uma prioridade para se manter um ambiente favorável no interior da construção, pelo que deve ser reforçado em relação aos anteriores.

18. ibidem, pág. 59

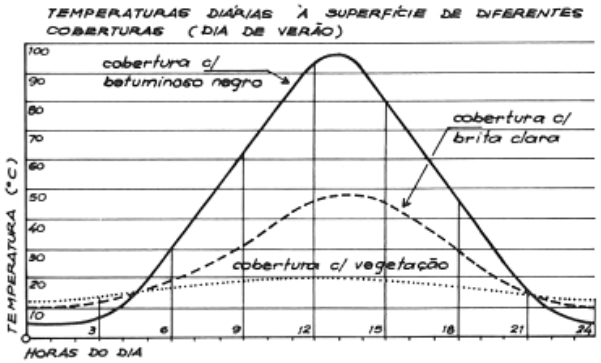


Imagem 109. As coberturas, estando sujeitas a altas temperaturas nos dias de verão (quase 100ºC) devem ser objeto de tratamento especial.

Em relação às pontes térmicas, o RCCTE aponta a avaliação individual dos locais singulares da envolvente através de coeficientes de transmissão térmica lineares, medidos em W/m.ºC[20].

Em relação à versão anterior do referido regulamento, o número de situações consideradas na avaliação das pontes térmicas é mais alargado e abrange as seguintes situações[21]:

- Pontes térmicas lineares por contacto de pavimentos térreos e de paredes enterradas com o terreno;
- Ligação da fachada com pavimentos térreos;
- Ligação da fachada com pavimentos intermédios;
- Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço;
- Ligação da fachada com varanda;
- Ligação entre duas paredes verticais;
- Ligação da fachada com caixa de estore;
- Ligação da fachada com padieira, ombreira ou peitoril.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear correspondente a cada uma destas situações, podem ser determinados de acordo com as metodologias descritas nas normas europeias EN13370, nos casos de elementos em contacto com o terreno, e EN ISO 10211-1, para as restantes ligações[22]. Caso exista alguma situação que ultrapasse as descritas acima, deve ser considerado um coeficiente equivalente a 0,5 W/m.ºC[23].

19. INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Ineti, Lisboa, 2006. pág. 30

20. idem.

21. idem.

22. idem.

Segundo Francisco Moita, a fenestração é geralmente mal concebida, e por isso representa cerca 35% em perdas energéticas face às necessidades térmicas do edifício[24]. A janela, por ser um elemento delicado face às perdas de calor ou até mesmo à exposição a ganhos solares significativos, revela um balanço térmico muito próprio e difícil de controlar. Para que não se ponha em causa o sistema pela dificuldade em controlar o balanço térmico da fenestração, o arquiteto pode tentar apontar, através de uma série de soluções, que estes elementos produzam balanços térmicos positivos no inverno e negativos no verão, através do controlo da incidência da radiação solar sobre os mesmos, através de sombreadores.

23. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 59

A fenestração, segundo Francisco Moita, *"é a mais simples e genuína ponte térmica do edifício"*[25]. As perdas térmicas na fenestração, por sua vez, resultam da infiltração de ar frio pelas frinchas de contacto entre os elementos que compõem as janelas, que não são devidamente estanques, ou então pela transmissão térmica direta que o vidro possibilita. O coeficiente das referidas perdas térmicas pode no entanto ser reduzido com adoção de dispositivos como o vidro duplo ou triplo, que oferece uma caixa de ar; ou ainda persianas exteriores, que atuam como isolamento extra, Estes dispositivos reduzem significativamente o fluxo de calor entre o interior e o exterior, o que consequentemente reduz as perdas de calor através da fenestração.

24. ibidem, pág. 60

A adoção de caixilharia com propriedades isolantes e valores de estanquidade das juntas elevados, pode também ter uma influência positiva no controlo dos balanços térmicos da fenestração, sendo que o mesmo se aplica a portas exteriores. O tipo de janela revela assim uma influência direta considerável, na medida em que com o tipo de janela, varia a quantidade de juntas, a superfície de vidro e consequentemente a superfície de caixilharia[26]. Uma janela de correr admite frinchas que podem reduzir o seu desempenho quando comparada com uma janela de batente, por exemplo.

25. ibidem, pág. 61

Aliados à fenestração, os dispositivos de sombreamento podem ser elementos muito importantes ao controlo solar, fator determinante no domínio das necessidades de aquecimento e arrefecimento. Durante o período mais quente, no verão, estes dispositivos são particularmente úteis no controlo da incidência da radiação solar no interior do espaço, que por sua vez causa um sobreaquecimento do mesmo[27]. Contudo, estes mesmo dispositivos não devem obstruir a radiação solar benéfica do inverno, que por sua vez aquece o espaço, no período mais fresco.

26. ibidem, pág. 63

Dependendo da área de superfície envidraçada, a presença de dispositivos de sombreamento pode ter uma influência significativa na linguagem de um edifício, sendo que quanto maior a superfície envidraçada, mais extensos serão estes dispositivos na envolvente mais exposta à radiação solar.

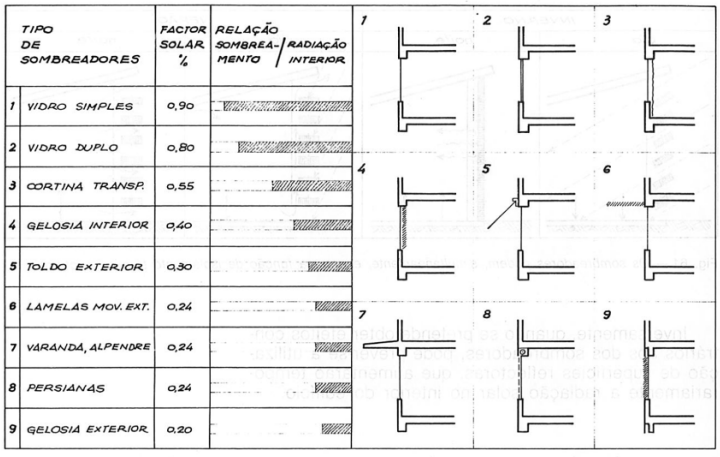


Imagem 110. Exemplificação esquemática de alguns tipos de sombreadores e respetivos coeficientes de efeito (percentagem da radiação transmitida para o interior).

A eficácia dos mesmos, depende muito do seu tipo (palas, brise-soleil, etc) e do seu dimensionamento, podendo ser definida segundo um coeficiente de efeito, que segundo Francisco Moita, consiste na quantidade de energia solar, em percentagem, transmitida para o interior[28]. O autor indica ainda que os dispositivos de sombreamento podem ser exteriores ou interiores, mas são recomendáveis pelo exterior, uma vez que os interiores podem ter um efeito negativo de sobreaquecimento do espaço por convecção[29].

27. idem.

28. idem.

Embora a arquitetura construída com alguns princípios climáticas sugira que sim, os dispositivos de sombreamento fixo, como as palas ou alguns tipos de brise soleil não são a melhor solução de proteção solar da fenestração de um edifício[30]. Embora, quando bem dimensionados, cumpram rigorosamente a função de proteção solar durante o período quente, no período frio pecam por proteger a mesma fenestração de uma quantidade significativa de radiação difusa, que muito pode ajudar a alcançar os níveis de conforto térmico desejados[31].

29. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 62

30. idem.

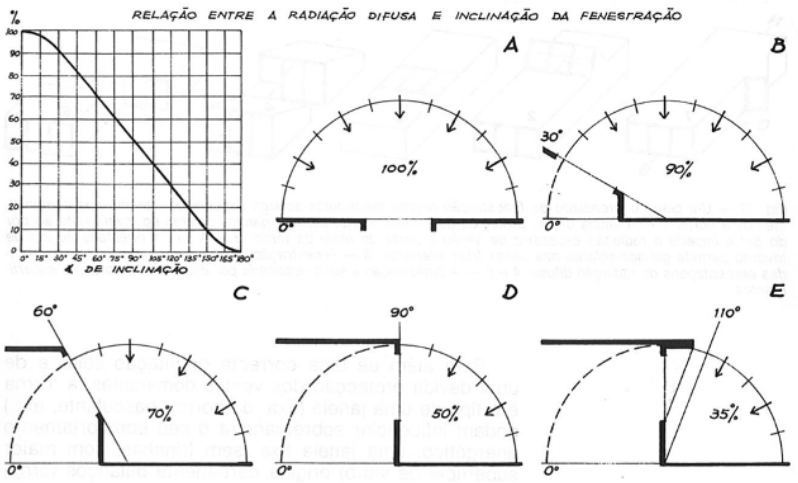


Imagem 111. A radiação captada com uma janela varia com a sua inclinação: o gráfico estabelece a quantidade de radiação solar difusa (em percentagem), segundo o ângulo de inclinação do vão envidraçado.

Os dispositivos moveis de sombreamento são a melhor solução[32], como por exemplo toldos, palas de recolher ou lamelas amovíveis, assumindo que apresentam a superfície exposta com características refletoras, que para além de revelarem uma maior liberdade de desenho, podem ser aplicadas tanto em construções novas como em reabilitações. A vegetação pode também ser uma otima solução de sombreamento, e por vezes mais economica[33].

31. ibidem, pág. 64

32. idem.

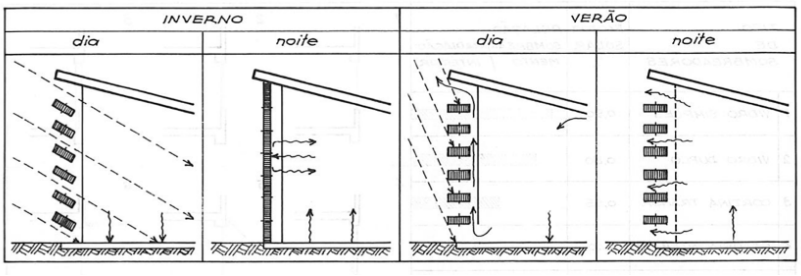


Imagem 112. Os sombreadores podem, simultaneamente, exercer a função de isolamento térmico noturno.

Segundo Franciso Moita, *"O conforto biológico dentro de um edifício depende de um conjunto de vários factores, como a temperatura do ar, a sua humidade relativa, a temperatura das paredes circundantes (radiação de contorno) e a velocidade do ar, que, relacionados entre si, nos transmitem a sensação de um ambiente mais ou menos confortável"*[34].

33. ibidem, pág. 65

Para um ambiente higiénico e saudável, verifica-se a necessidade de cumprimento de uma determinada taxa de renovação do ar, que segundo o mesmo autor se revela exagerada na maioria dos edifícios construídos, mas que deve ser controlada a fim de evitar perdas térmicas do interior desnecessárias.

O movimento do ar pelo interior da casa deve ser assumidamente manipulável, numa estratégia equilibrada entre os ambientes exterior e interior, através de portas e janelas (que fechadas devem ser estanques), e tendo em conta os diferentes compartimentos[35].

34. ibidem, pág. 67

O habitante, quando informado, é capaz de controlar a referida taxa de renovação do ar, necessária ao ambiente confortável da sua habitação, em todos os compartimentos. Este pode, através da abertura de janelas e portas, ser capaz de controlar a ventilação de todos os espaços da habitação, que por sua vez deve assegurar uma ventilação cruzada por todos os compartimentos.

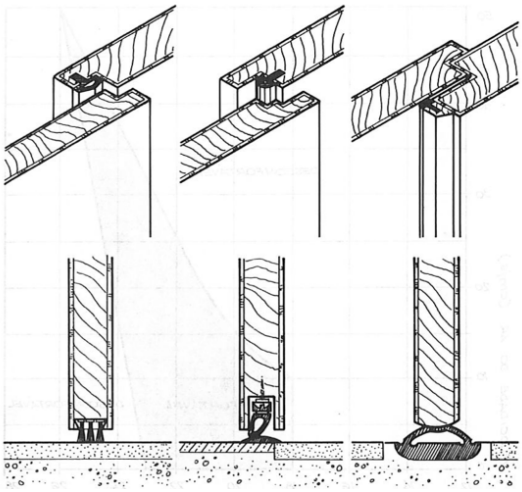


Imagem 113. Alguns exemplos de utilização de vedantes de fácil aplicação nas frinchas das portas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia tem vindo a ganhar um espaço cada vez mais amplo no ramo da arquitetura, e com esta o conforto térmico tem-se transformado, cada vez mais, num estado artificial.

O desenvolvimento da arquitetura desde o século passado, cujos princípios de construção a uma escala internacional ainda resistem, gravemente anulam o conhecimento vernacular que naturalmente trabalhava com o estado natural do conforto térmico, ou a procura contante pelo mesmo. No entanto, como a tecnologia não é um bem acessível a toda a população, encontramos problemas como os identificados na introdução do estudo.

A presente dissertação tenta responder a tais perigos com um modelo de arquitetura dotado de uma consciência climática. Tal modelo possibilita o desenvolvimento de uma condição natural de conforto, através do aproveitamento da energia solar com a utilização de estratégias passivas, que por sua vez concorrem para uma maior eficiência energética.

Com uma abordagem arquitetónica clara, que se afasta de avaliações qualitativas ou quantitativas da sua construção, a solução passa pelo desenvolvimento de uma série de princípios arquitetónicos que devem ser assegurados para um projeto de arquitetura bioclimática sobre estes moldes, que a partir daqui, pode ser afinado à escala da eficácia térmica de cada elemento construtivo que compõe o projeto.

Este estudo pretende oferecer uma orientação prática ao desenvolvimento de uma relação íntima entre arquitetura e clima, na tentativa de providenciar um controlo térmico sobre o espaço habitado. Desta forma é possível atenuar os graves problemas de pobreza energética apontados na parte inicial, e consequentemente, diminuir os valores trágicos que identificamos como taxa de mortalidade por incapacidade de aquecimento.

As principais conclusões que se podem retirar desta reflexão ultrapassam o campo da arquitetura nas suas possibilidades práticas.

A análise objetiva aos problemas globais da sustentabilidade que o presente estudo aborda, esclarece a urgência da adoção de uma consciência ecológica no modelo de sustentabilidade que as presentes gerações vão, naturalmente, desenvolver.

A responsabilidade social do arquiteto, por sua vez, pode ter um peso significativo no referido desenvolvimento. O arquiteto, com a capacidade de concepção e criação de espaço habitáveis, pode oferecer à sociedade uma arquitetura sustentável no seu conceito mais elementar, ou seja, que resista ao tempo. Esta arquitetura pode oferecer um ambiente termicamente confortável ao habitante, não só nas presentes gerações, como também nas futuras, que involuntariamente irão sofrer com os erros que podemos e não queremos evitar no presente.

A adaptação climática do projeto da arquitetura acaba por ser a forma mais direta e eficaz de contribuir de forma positiva para tal modelo de sustentabilidade. Com o estudo dos princípios que tentamos abordar ao longo da reflexão, o arquiteto pode criar um ambiente mais confortável nos seus espaços, sem a necessidade de reforçar a pegada ecológica que todos os dias cresce exponencialmente.

De forma passiva, podemos garantir as necessidades mais básicas de conforto ambiental, que neste estudo fica marcado pelo programa de habitação como exemplo, na esperança de que todas as outras vertentes, que também revelam algum peso na classificação da eficiência energética, desenvolvam a sua parte, num plano conjunto de melhoramento do modelo de sustentabilidade que, para além de desenvolvermos, experienciamos todos os dias.

No caso concreto da abordagem arquitetónica que se propõe neste estudo, revela-se a necessidade de um maior investimento inicial em prol do bem-estar.

Na arquitetura de interesse social, para uma parte da população mais carenciada, isso reflete-se num investimento público alargado no momento de construção da habitação com efeitos de poupança a longo prazo no poder económico de quem realmente verifica tal necessidade, o habitante.

Numa sociedade que pretende melhorar o bem-estar social, esta é uma das formas de o alcançar. Embora se verifique um maior esforço financeiro na materialização do projeto, o resultado acabaria sempre por ultrapassar um lucro financeiro, com o desenvolvimento de um bem-estar social que não se compra.

A configuração climática nacional, embora seja das mais difíceis de controlar, como pudemos verificar, é a que mais facilmente desenvolve resultados práticos, a curto prazo, com a satisfação imediata do habitante, ou a longo prazo, com a redução da taxa de mortalidade por falta de capacidade em manter o espaço doméstico quento no inverno, como identificamos no início.

O prejuízo acaba até por se refletir na prática do arquiteto, ao tentar dominar um sistema de relações complexo entre clima e arquitetura. A grande parte do trabalho acaba por estar na afinação do projeto que tenta garantir um conforto térmico sem recorrer a energia adicional, isto é, para lá do necessário.

Para qualquer projeto de habitação, se o arquiteto conseguir assegurar a materialização de alguns dos princípios mencionados neste estudo, facilmente provoca uma redução nos custos energéticos em prol do conforto ambiental, o que por sua vez pode ser um ótimo ponto de partida.

Em síntese, o projeto de arquitetura que pretende afinar a relação entre o edifício e o ambiente exterior pode ser concebido em quatro etapas fundamentais:

- Desenvolver a compreensão do macroclima, através do conhecimento científico das variantes climáticas, para que se possam identificar os elementos que contribuem para a configuração climática do espaço a construir;

- Identificar as necessidades térmicas que resultam de tal configuração climática, de forma a apontar as estratégias de projeto que as transformarão em condições confortáveis;

- Analisar o potencial do microclima envolvente ao edifício, na tentativa de aproveitar os ganhos térmicos favoráveis provenientes da exposição solar ou controlo do movimento do ar;

- E finalmente desenvolver as estratégias identificadas como favoráveis e pertinentes ao lugar onde se vai implantar o edifício, de forma a garantir que todos os períodos de necessidade são devidamente controlados para alcançar condições de conforto térmico.

Assim é possível desenvolver este tipo de arquitetura, sobre um modelo que não pretende ser rígido, e tenta devolver, o máximo possível, as condições de liberdade arquitetónica que um projeto de habitação, por exemplo, deve ter. Contudo, um dos principais fatores que pode comprometer este tipo de proposta acaba por ser o próprio habitante. A falta de informação ou de formação do habitante em relação às potencialidades do espaço que habita pode ser um fator determinante à falha do sistema. A publicidade dos princípios aplicados no projeto, assim como a formação do habitante sobre tais estratégias deve ser outra das principais estratégias do próprio projeto.

APÊNDICE

PSICROMETRIA A.
DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI B.
CARTA SOLAR C.
SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO KÖPPEN-GEIGER D.
DIVISÃO CLIMÁTICA, RCCTE E.

PSICROMETRIA A.

A psicrometria é uma disciplina do ramo da física, ligada ao ramo da meteorologia, que estuda o estado higrométrico do ar. Através de uma relação entre várias propriedades do ar, na carta psicrométrica é possivel identificar com precisão o estado de uma determinada configuração atmosférica. Para além disso, permite também o registo das alterações que os fenómenos térmicos podem causar. Para o estudo, a psicrometria serve essencialmente a identificação das necessidades térmicas do local onde a proposta se implanta, que em relação com as zonas do diagrama de Givoni, abordado no anexo seguinte, orienta o desenho arquitetónico da proposta.

O ar (seco) é uma mistura de nitrogénio e oxigénio, assim como de vários outros gases minoritários que compõem a atmosfera terrestre, dos quais alguns fazem parte do que referimos como GEE, ou gases com efeito estufa[1]. Contudo, o ar que nos rodeia é ar húmido, pois contém também quantidades variadas de vapor de água. A uma dada temperatura, esse ar consegue apenas suportar uma quantidade limitada desse mesmo vapor de água, até ficar saturado.

1. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 12

O psicrómetro é um instrumento giratório utilizado na medição da humidade, e que Szokolay considera como um dos melhores[2]. Este consiste num instrumento com dois termómetros: um de bulbo seco e outro de bulbo molhado, que por sua vez está enrolado numa gaze que é mantida constantemente húmida por um pequeno reservatório de água.

2. idem.

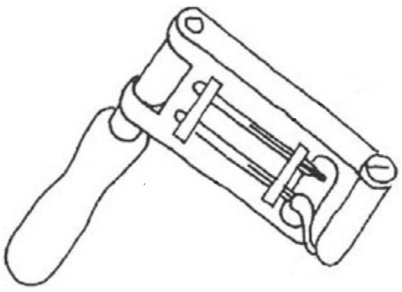


Imagem 114. Psicrómetro giratório.

Quando o psicrómetro é girado tentamos obter o nível máximo de evaporação possível de forma a atingir o valor de humidade, que pode ser calculado através da diferença entre o valor da temperatura apresentada no termómetro de bulbo molhado e a temperatura do ar seco, apresentada no termómetro de bulbo seco, pois a quantidade de evaporação alcançada é inversamente proporcional à quantidade de humidade presente no ar[3]. Quando as temperaturas de ambos os termómetros são iguais, não existiu qualquer evaporação, o que nos indica que o ar está saturado. Por outro lado, quando existe uma forte evaporação, o termómetro de bulbo molhado apresenta uma significativa depressão em relação ao termómetro de bulbo seco, o que indica que a humidade presente no ar revela valores muito baixos.

3. idem.

A imagem seguinte mostra a estrutura elementar da carta psicrométrica, que, através dos dados obtidos no psicrómetro, serve para estudar a relação entre temperatura e humidade, de forma a identificar o estado natural de uma determinada configuração climática, com o objetivo de apurar as necessidades térmicas de conforto.

A linha horizontal representa a temperatura do termómetro de bulbo seco, em ºC, enquanto que o eixo vertical representa a humidade absoluta, em g/kg (gramas de humidade por quilograma de ar), que se encontra através da diferença entre a temperatura dos dois termómetros.

A curva superior que limita o desenvolvimento das linhas horizontais e verticais representa a curva de saturação, que indica o conteúdo máximo de humidade que uma determinada temperatura consegue suportar. Cada ponto de interseção entre uma determinada temperatura e a curva de saturação representa a humidade de saturação de tal temperatura, ou seja, a quantidade máxima de humidade que essa temperatura consegue suportar.

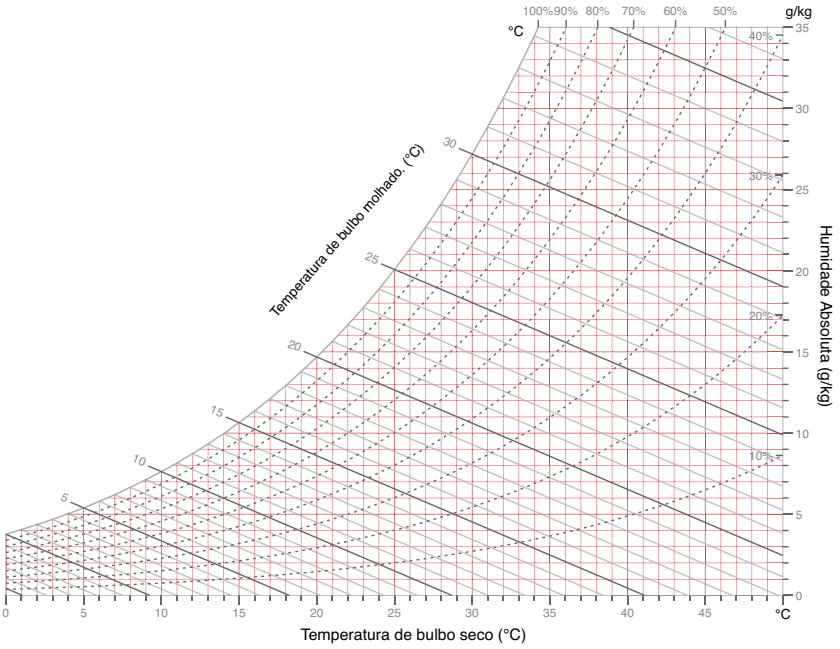


Imagem 115. Humidade Absoluta e Temperatura de bulbo seco.

Segundo Szokolay, cada ordenada vertical pode ser dividida, por exemplo em 10 partes iguais, como mostra a figura seguinte, e as curvas encontradas para cada ponto da divisão podem ser interpretadas como curvas que representam a humidade relativa em percentagem, sendo a curva de topo a que representa os 100% ou a humidade absoluta, como verificamos, e as restantes como curvas de humidade relativa às quais se associa uma percentagem especifica[4].

A figura mostra ainda as linhas inclinadas que representam a referida temperatura do termómetro de bulbo molhado. Estas coincidem, na curva de saturação, com as linhas verticais que arrancam do eixo da temperatura do termómetro de bulbo seco.

Quando se procede a uma medição, a interseção entre as linhas dos dois termómetros, o de bulbo molhado e o de bulbo seco, serve para encontrar o ponto de estado (status point), que indica tanto a humidade relativa como a humidade absoluta[5].

4. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 12

5. idem.

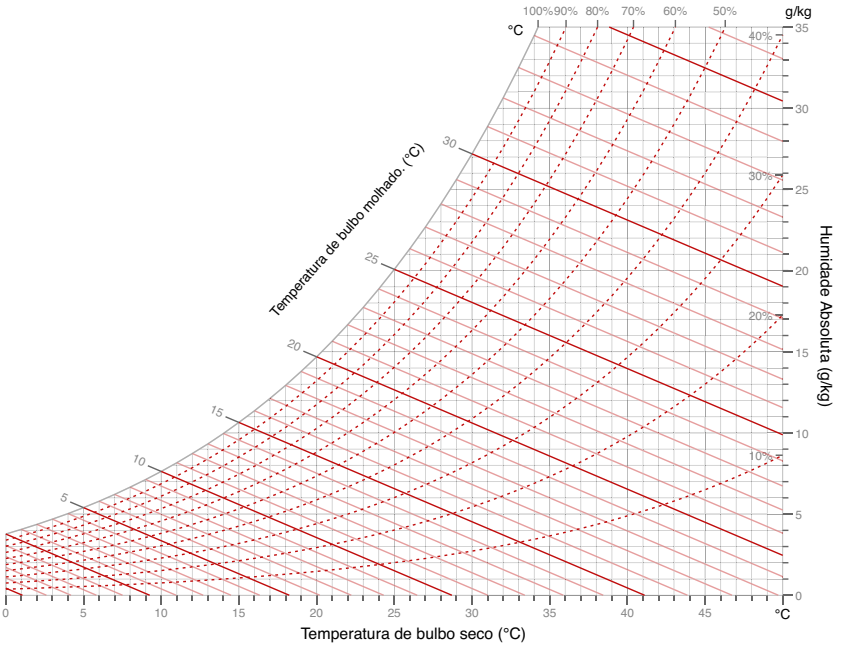


Imagem 116. Humidade Relativa e Temperatura de bulbo molhado.

Os processos psicrométricos, como o aquecimento ou o arrefecimento, podem ser representados no gráfico através do movimento do ponto de estado (status point)[6]. O aquecimento representa-se no gráfico através do movimento horizontal do ponto de estado para a direita. Assim que a temperatura do termómetro de bulbo seco sobe, sem alterações na humidade, a humidade relativa diminui. O arrefecimento, por sua vez, é representado da mesma forma, embora o ponto de estado se mova para esquerda. Isto reflete um aumento na humidade relativa, enquanto a humidade absoluta não sofre qualquer alteração.

6. ibidem, pág. 14

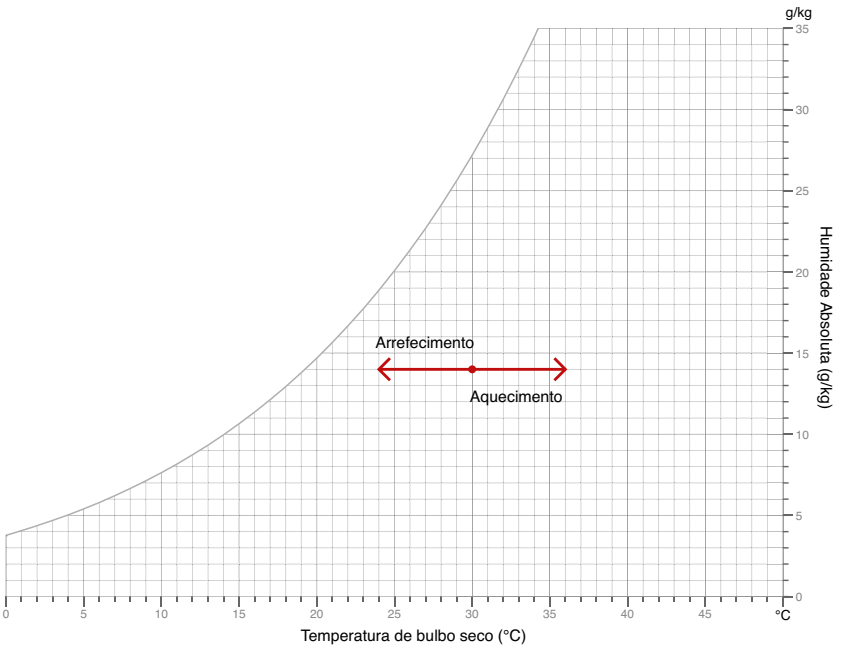


Imagem 117. Processos Psicrométricos: Aquecimento e Arrefecimento.

Quando a linha horizontal atinge a curva de saturação através do processo de arrefecimento, um determinado ponto de estado atinge a temperatura de ponto de orvalho correspondente à sua humidade absoluta. Szokolay sugere o exemplo de uma determinada temperatura de cerca de 20,5°C, em que a humidade relativa será de 100%. Se esta temperatura for arrefecida, por se encontrar no limite da sua humidade absoluta, o processo de condensação começa, pelo que se inicia o orvalho[7].

7. idem.

A partir desse momento, o ponto de estado move-se ao longo da curva de saturação e a humidade absoluta correspondente à referida queda vertical seria condensada, como é possível verificar na figura.

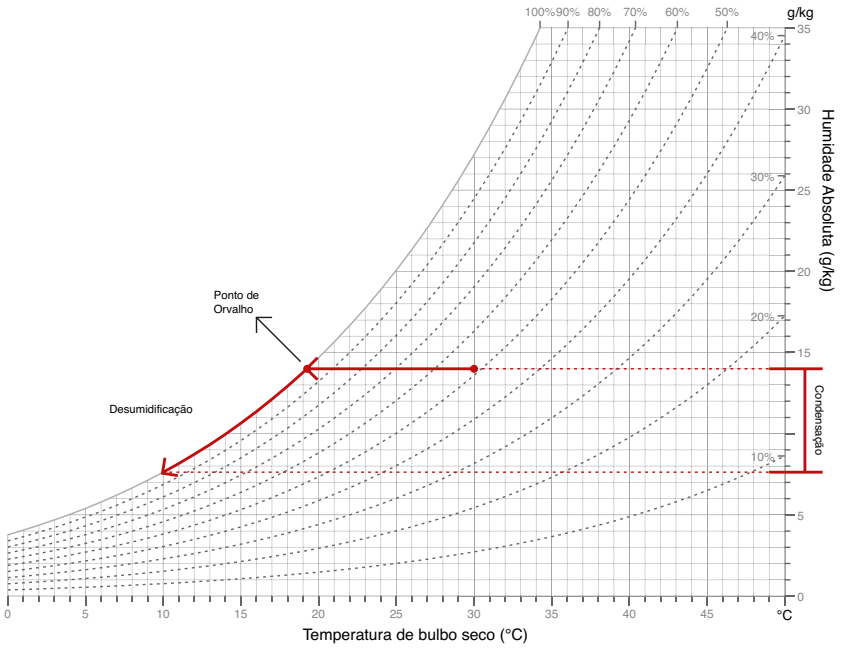


Imagem 118. Processos Psicrométricos: Arrefecimento.

O processo de humidificação ou evaporação de humidades para o ar diz-se ser adiabático, o que significa que não existem trocas térmicas de calor[8]. Isto causa uma redução da temperatura do termómetro de bulbo seco, embora se registe um aumento tanto na humidade relativa como na humidade absoluta. Este processo representa-se no gráfico através do movimento diagonal do ponto de estado para cima e para a esquerda, ao longo de uma linha de temperatura do termómetro de bulbo molhado.

O processo de desumidificação é também um processo adiabático e ocorre quando o ar é tratado por um qualquer absorvente que retira humidade ao conteúdo do ar. Este processo liberta calor, pelo que a linha de temperatura do termómetro de bulbo seco aumenta, enquanto a humidade relativa e absoluta é reduzida[9].

8. SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 14

9. idem.

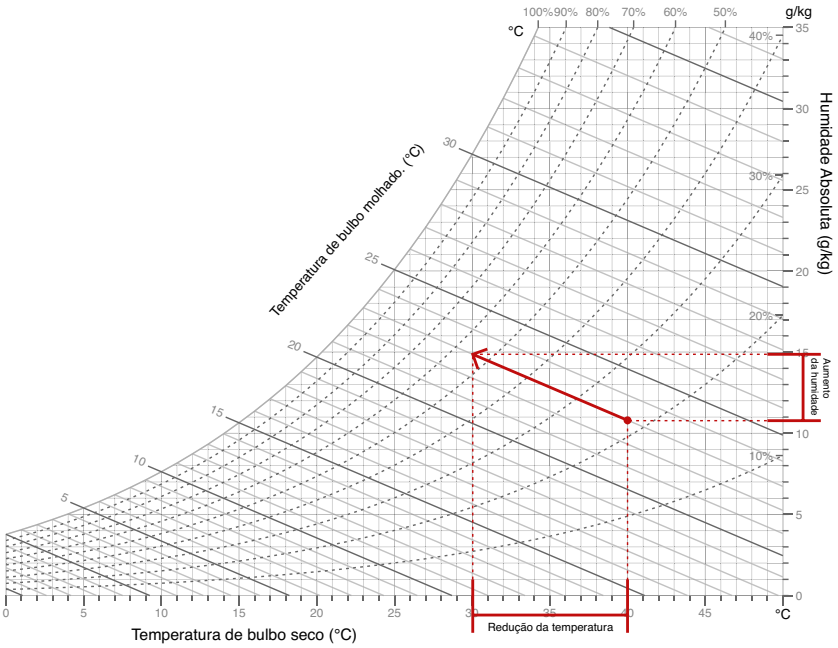


Imagem 119. Processos Psicrométricos: Humidificação.

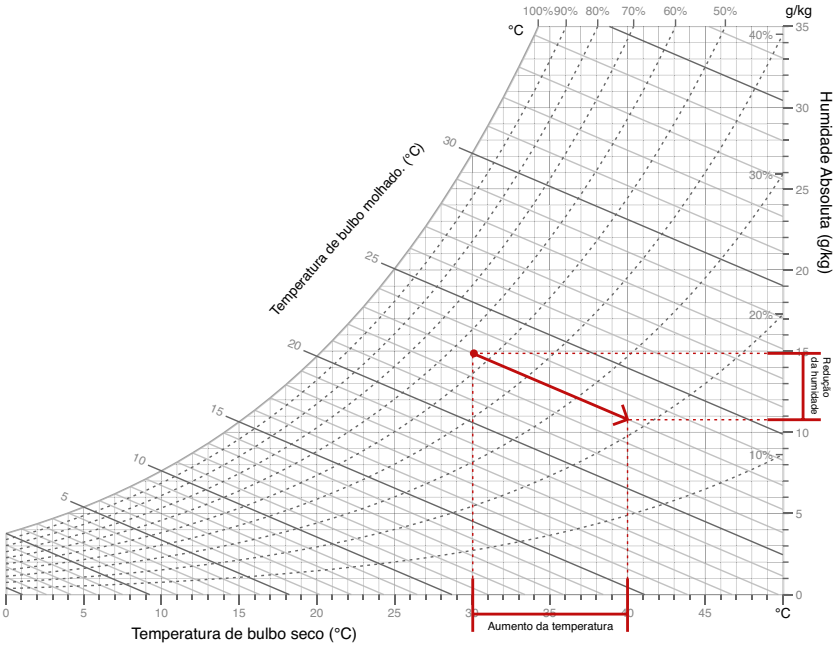


Imagem 120. Processos Psicrométricos: Desumidificação.

A carta psicrométrica e os processos associados à mesma servem para fazer um registo do estado natural do estado da atmosfera, assim como do estado final face às alterações que os princípios arquitetónicos utilizados num determinado espaço podem alcançar.

DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI B.

Uma vez que o trabalho de zonamento de necessidades térmicas de Givoni se apoia na carta psicométrica, este apresenta-se como um apoio natural a este estudo na identificação das referidas necessidades. Primeiro, revela-se necessário apontar as zonas que constituem o referido esquema, para que de seguida se afinem, caso a caso, o que cada um desses elementos representa. Embora seja uma matéria fundamental ao estudo, este método serve para apontar as necessidades térmicas de qualquer tipo de configuração climática, pelo que se afasta do objeto de estudo. A sua aplicação por sua vez, é a que mais interessa, e essa sim, está vertida no estudo.

O diagrama de Givoni utiliza a carta psicométrica para delinear as áreas correspondentes às necessidades térmicas do ambiente em relação à zona de conforto, que por sua vez representam as áreas de intervenção das estratégias bioclimáticas adaptadas a cada uma dessas necessidades. Segundo Givoni, a carta psicométrica pode ser dividida nas seguintes àreas[1]:

0. Zona de Conforto
1. Zona de ventilação
    a. Diurna
    b. Noturna
2. Zona de arrefecimento por evaporação
3. Zona de humidificação
4. Zona de arrefecimento por inércia térmica
5. Zona de aquecimento por inércia térmica
6. Zona de aquecimento solar passivo
7. Zona de aquecimento artificial
8. Zona de arrefecimento artificial

Desde já, é importante referir que as zonas que revelam tanto a necessidade de aquecimento como de arrefecimento artificial ultrapassam os limites das estratégias bioclimáticas passivas, pelo que não pertencem ao grupo das mesmas, embora possam ser atenuadas pelas referidas estratégias[2].

Facilmente se apreende que as estratégias de aquecimento e arrefecimento se dividem entre os dois lados da carta psicométrica. A linha que as separa, naturalmente sem influência da zona de conforto, indica a temperatura ideal de conforto.

Verifica-se então que, da linha de temperatura ideal, equivalente a 20ºC, para a esquerda encontram-se as estratégias de aquecimento, enquanto do lado direito se desenvolvem as estratégias de arrefecimento.

1. GIVONI, Baruch (1992). Confort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. 18: 11-23

2. idem.

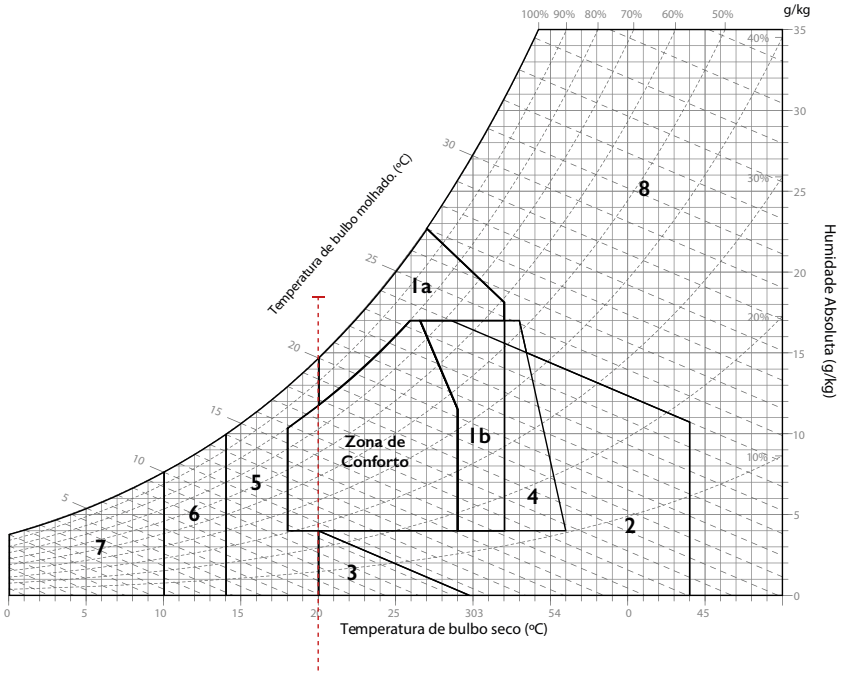


Imagem 121. Classificação das necessidades sobre o gráfico psicométrico.

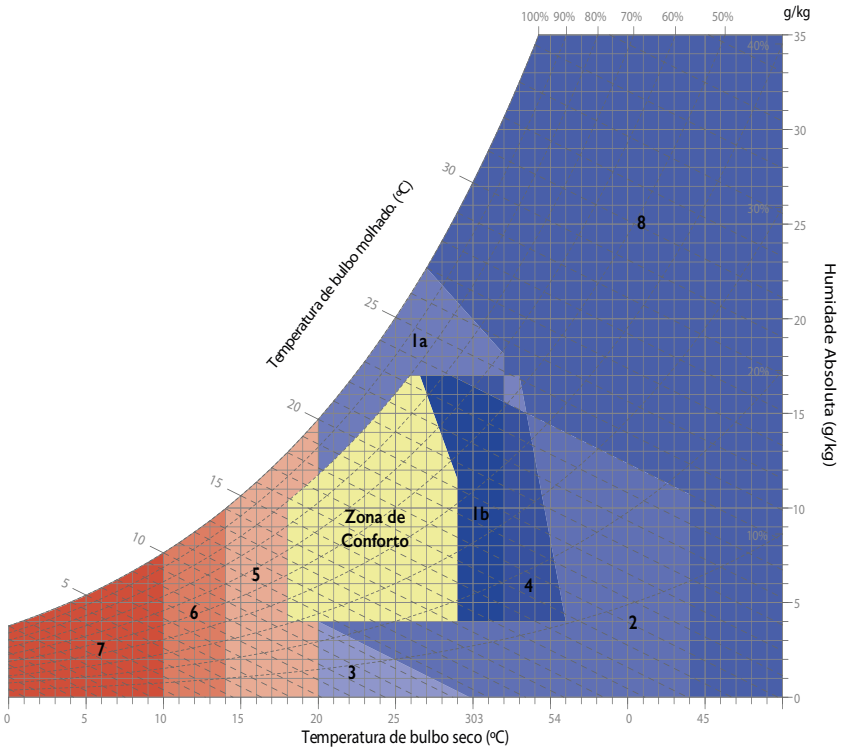


Imagem 122. Classificação por cor das necessidades sobre o gráfico psicométrico.

A zona de conforto[3] é fundamentalmente caracterizada pela humidade relativa entre os 20% e os 80%, com os limites inferiores e superiores nos valores de 4g/kg e 17g/kg respetivamente, e temperatura entre os 18ºC e os 29ºC. Contudo, deve ter em consideração as variáveis humanas, como o metabolismo e o vestuário, que podem influenciar significativamente os limites da referida área.

A área determinada à partida não considera nenhuma das duas, pelo que se refere ao espaço em si, sem atividade humana. Para assegurar os níveis da zona conforto sem deixar de considerar as variáveis humanas, será sempre necessário uma atenção particular sobre o sombreamento sempre que se verifique uma temperatura acima dos 20ºC, para que o espaço evite a incidência de radiação solar excessiva que facilmente põe em causa a localização do ponto de estado dentro da zona de conforto.

Assim sendo, mesmo que se verifique a condição favorável à zona de conforto do diagrama de Givoni, a estratégia deve sempre assegurar uma estratégia passiva de arrefecimento, que passa essencialmente pelo sombreamento, pela sua eficácia.

3. GIVONI, Baruch (1992). Confort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. 18: 11-23

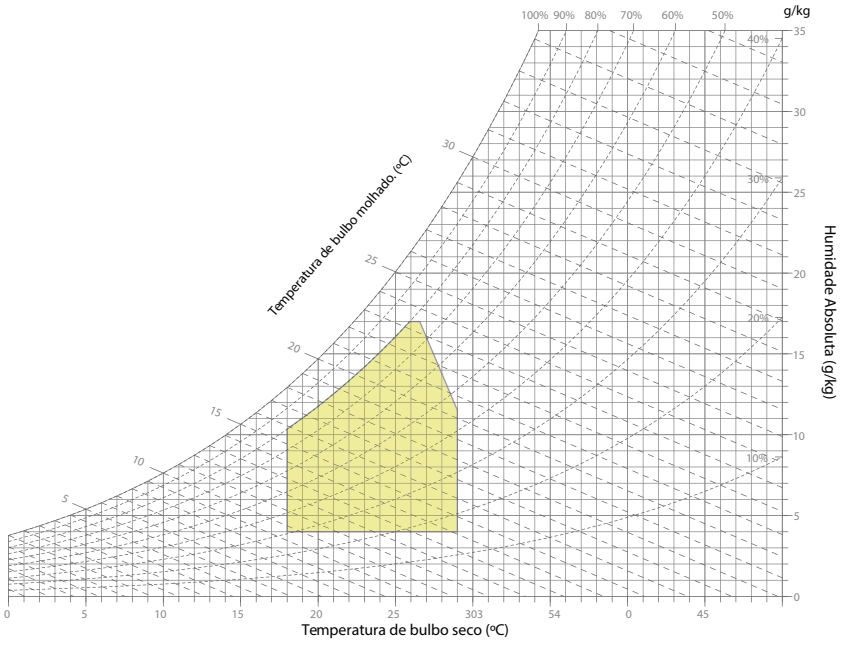


Imagem 123. Zona de conforto.

A zona de ventilação natural[4] é definida essencialmente pela temperatura acima dos 29ºC, até aos 32ºC ou humidade relativa acima 80%, sempre que a temperatura se verifique acima da linha de temperatura ideal. Os limites de humidade inferior e superior mantêm-se nos 4g/kg (como na área anterior) e estendem-se até aos 20,5g/kg respetivamente. O limite de temperatura superior fixa os 29ºC na medida em que, a partir da referida temperatura, a ventilação acaba por conduzir o calor para dentro do espaço, uma vez que este facilmente já se encontra mais quente que o ar exterior, o que faz com que a estratégia só seja viável quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior.

4. idem.

Esta zona divide-se ainda entre ventilação diurna e ventilação noturna, consoante a necessidade. Embora a ventilação seja uma estratégia fundamental quando se registam temperaturas altas, é no valor da humidade que se verifica a diferença entre os dois períodos de necessidade de ventilação. A ventilação diurna é necessária quando os valores de temperatura e humidade se verificam altos, enquanto a noturna é essencial quando as temperaturas são igualmente elevadas, mas os valores de humidade registam reduzidos.

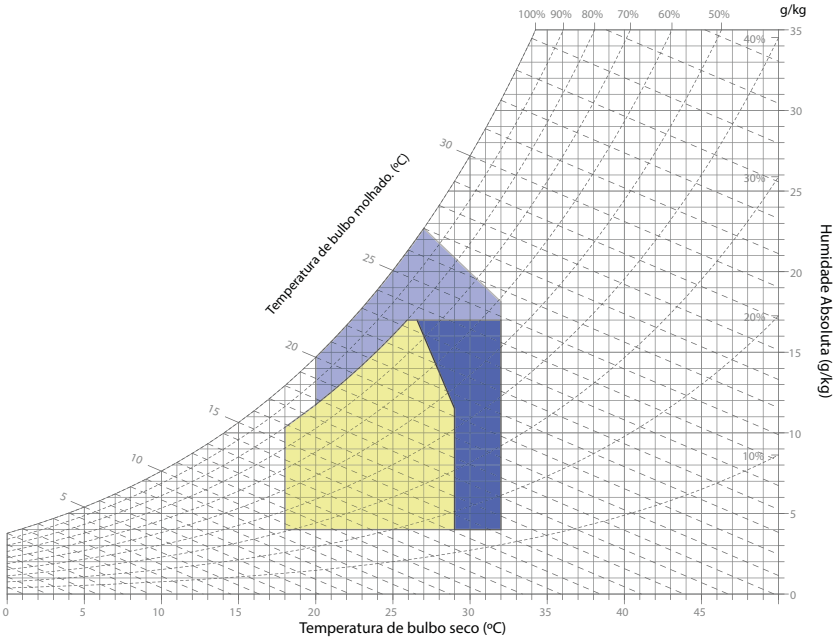


Imagem 124. Zona de ventilação diúrna e noturna.

A zona de arrefecimento[5] por evaporação consiste em estratégias que, mesmo quando a temperatura ultrapassa os 29ºC, continuam a ser muito eficazes.

As estratégias bioclimáticas referentes a esta zona, utilizam o processo natural de troca térmica húmida, neste caso por evaporação, quando por exemplo, a água, em contacto com uma determinada superfície do edifício transporta calor do mesmo para o meio ambiente, aproveitando o movimento natural do ar.

A taxa de evaporação depende essencialmente da área da superfície em contacto com a água, que quanto maior, mais rápido se desenvolve o processo, e consequentemente maior será a taxa de ventilação do espaço,

Este tipo de estratégias, quando aliadas à ventilação, como referido anteriormente, ao desenvolver um aumento da taxa de renovação de ar do espaço assegura uma redução da humidade relativa do mesmo.

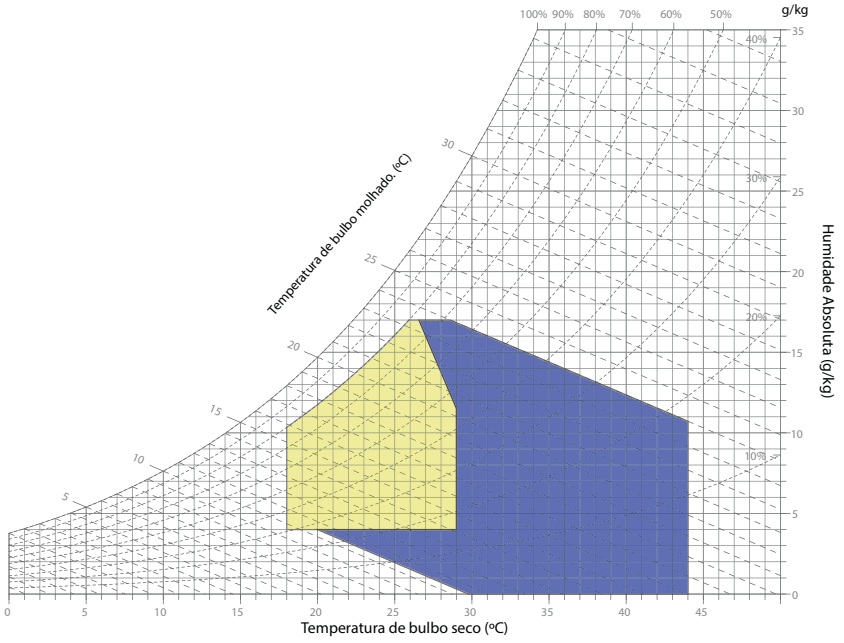


Imagem 125. Zona de arrefecimento por evaporação.

5. GIVONI, Baruch (1992). Confort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. 18: 11-23

A zona de humidificação[6] consiste na necessidade de transportar humidade para dentro do espaço, pelo que, como se pode verificar no gráfico, é uma área onde os valores de humidade são muito reduzidos.

6. idem.

Quando esta necessidade se verifica, as estratégias de humidificação e de arrefecimento por evaporação devem ser muito controladas, de forma a não entrarem em conflito, uma vez que as estratégias de arrefecimento por evaporação tendem a retirar alguma humidade ao espaço. Neste sentido, deve evitar-se o contacto da água com as superfícies da edificação, mas utilizar do mesmo modo a água, a partir de espelhos de água por exemplo, como fonte de humidade necessária ao espaço.

Conclui-se, portanto, que a utilização da água aproxima as estratégias da zona em questão com as estratégias da zona anterior, porém afastam-se pela necessidade de ventilação que se verifica na primeira, e não na segunda.

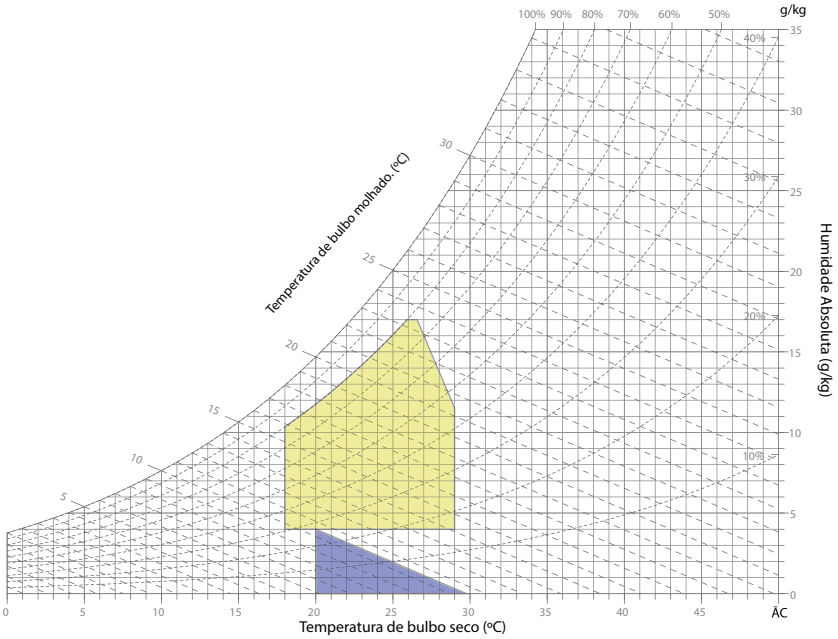


Imagem 126. Zona de humidificação.

A zona de arrefecimento por inércia térmica[7] é uma zona que revela necessidades que se verificam principalmente em climas quentes e secos, pelas amplitudes térmicas significativas que tais configurações climáticas apresentam.

As referidas amplitudes térmicas acontecem, fundamentalmente, pelos níveis de densidade do ar que se revelam reduzidos, o que faz com que o mesmo acumule e perca calor muito rapidamente. Tal fenómeno resulta em dias muito quentes e noite muito frias, onde a necessidade de atraso térmico é importante, na medida em que se pretende conservar algum do calor, ganho durante o dia, para aquecer os espaços durante a noite, quando este se encontra mais frio.

Para produzir tal efeito é possível recorrer à utilização de materiais densos, com altos níveis de condutibilidade (o que pode ainda ser ampliado com a manipulação da espessura do mesmo material) na envolvente exterior do edifício, para usufruir da inércia térmica dos mesmos, visto que consiste em acumular o calor produzido durante o dia, armazena-lo, e permitir a sua entrada durante a noite, quando é realmente necessário.

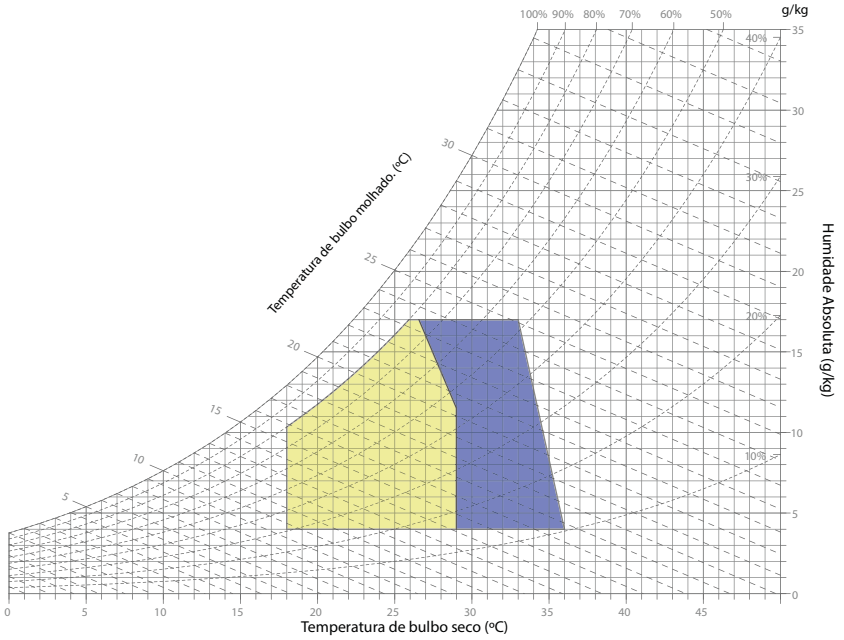


Imagem 127. Zona de arrefecimento por inércia térmica.

7. GIVONI, Baruch (1992). Confort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. 18: 11-23

Com as zonas de arrefecimento esclarecidas, prosseguimos paras as zonas que apresentam necessidade de arrefecimento, que como verificamos, se encontram abaixo dos valores temperatura ideal. A zona de aquecimento por inércia térmica[8] revela princípios muito semelhantes à zona anterior, embora o objetivo seja algo diferente, assim como a sua aplicação no espaço.

8. idem.

Neste caso, em vez do atraso térmico para usufruir do calor quando necessário, pretende-se que o mesmo seja usufruído constantemente. Assim, a principal diferença reside na localização dos elementos construtivos com inércia térmica, que em vez de fazerem parte da envolvente exterior, se situam no interior, com o intuito de receber, armazenar e permitir a dissipação do mesmo calor durante todo o dia, inclusive durante o período da noite.

Como as estratégias que satisfazem os requisitos desta zona, quando fazem parte de um sistema de aproveitamento de energia solar de forma passiva, necessitam do sol para aquecimento dos referidos elementos, são geralmente associadas a estratégias de aquecimento solar passivo, como a utilização do vidro orientado sobre a exposição mais favorável à incidência da radiação solar necessária.

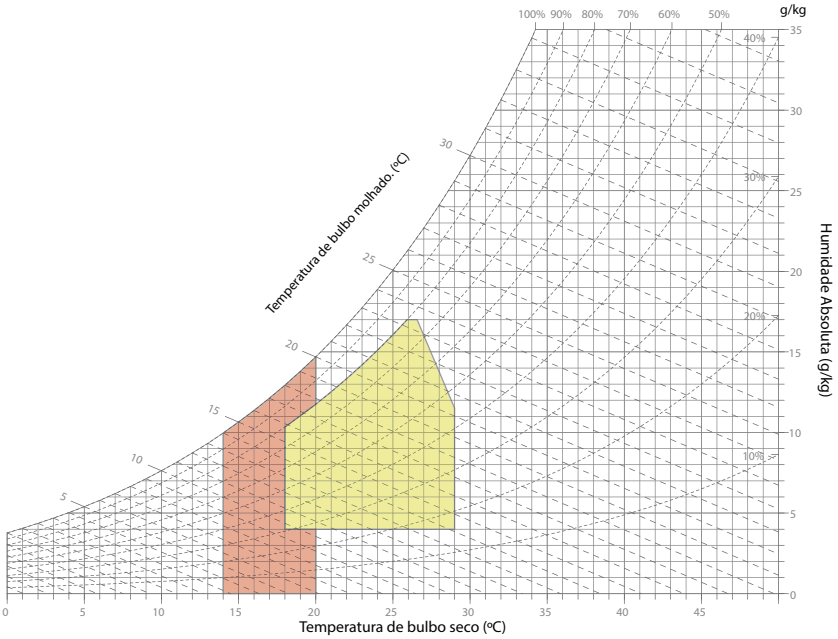


Imagem 128. Zona de aquecimento por inércia térmica.

A zona de aquecimento solar passivo[9], para além do aquecimento de elementos constituintes do espaço como no caso anterior, consiste essencialmente no aquecimento do ar. Um exemplo pertinente e conhecido deste tipo de estratégias é a parede de Trombe, que consiste numa massa de ar envolvida por uma superfície envidraçada pelo exterior e por uma parede opaca com a superfície exterior em tons escuros pelo interior.

A radiação solar, que atravessa o vidro, aquece a parede opaca, que por sua vez aquece a massa de ar que circula pelo vazio entre os dois elementos e pelo interior do espaço através de duas abertura na parede opaca, uma inferior que recebe o ar arrefecido pelo espaço interior e uma superior que encaminha o ar aquecido no referido vazio até ao mesmo espaço interior.

Os limites de temperatura desta zona são fundamentais à compreensão das necessidades de aquecimento, que se compreendem entre os 10ºC e os 14ºC, de forma a evitar um sobre aquecimento do espaço interior.

9. GIVONI, Baruch (1992). Confort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. 18: 11-23

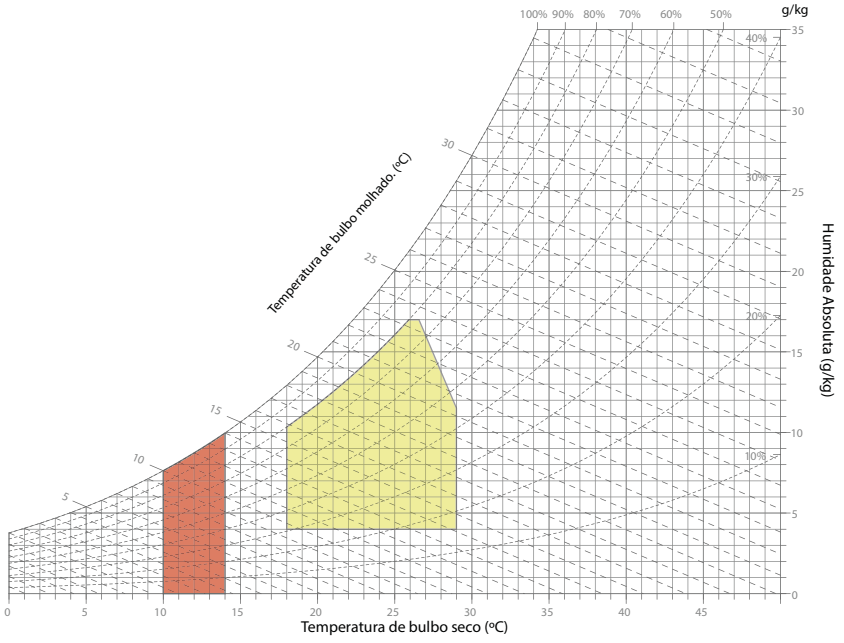


Imagem 129. Zona de aquecimento solar passivo.

As zonas de condicionamento artificial como é o caso da zona de aquecimento artificial e de arrefecimento artificial[10], são zonas em que as condições do meio ambiente ultrapassam as possibilidades das estratégias passivas no seu pleno e mais eficaz funcionamento, embora a utilização das mesmas tenha alguma influência no consumo energético de tais dispositivos artificiais.

10. idem.

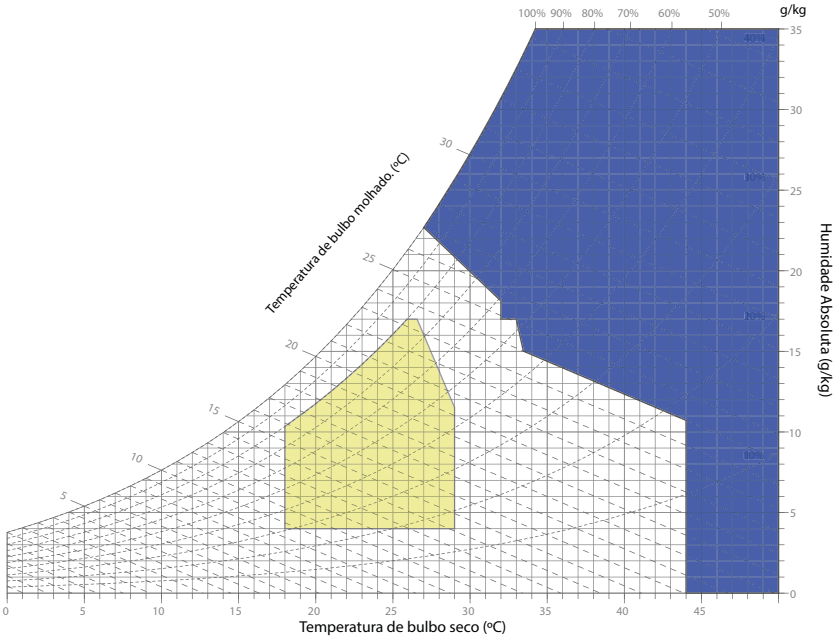


Imagem 130. Zona de arrefecimento artificial.

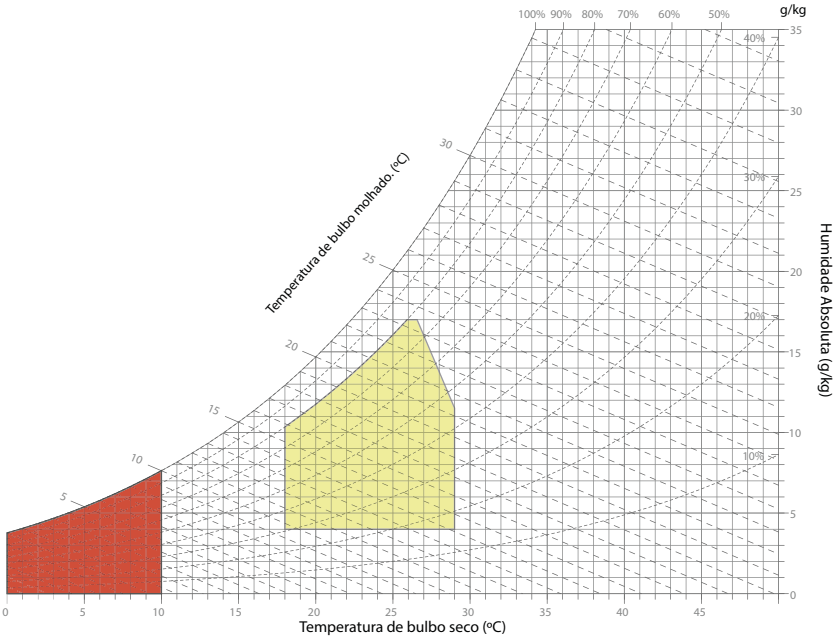


Imagem 131. Zona de aquecimento artificial.

Segundo o esquema de Givoni, identificar as necessidades térmicas de um determinado local requer o apuramento de alguns dados climáticos. Uma vez que os dados climáticos já foram registados no segundo capítulo, podemos recorrer à tabela da página 94 para apurar os seguintes valores:

- Temperatura média mensal
- Temperatura média máxima mensal
- Temperatura média mínima mensal
- Humidade relativa média mensal
- Variação mensal do conteúdo de humidade

A utilização dos modelos informáticos como por exemplo o programa Climate Consultant, ou em versões online como o website Interective Psychrometric Chart são ferramentas muito úteis a este tipo de análise, uma vez que a partir de um único ficheiro de dados climáticos em formato .epw (disponível para a maior parte das localizações mundiais) disponibilizam uma leitura muito afinada das várias relações que consideramos pertinentes a este tipo de estudo. Contudo, de forma manual, embora se deva recorrer aos dados climáticos registados por modelos meteorológicos, é possível apurar as necessidades através de um processo geométrico.

Tal método, sobre uma leitura mensal, começa pelo apuramento, no eixo das abcissas do gráfico psicométrico, da temperatura média de um determinado mês. A partir desse ponto, projetamos uma linha até à linha de humidade relativa média mensal, para encontrarmos o ponto de estado referente ao mês em questão. A partir desse ponto de estado, esticamos a linha para ambas as laterais até encontrar os valores de temperatura máxima e mínima. Por fim, subimos o ponto da temperatura máxima e descemos o ponto de temperatura mínima até metade do valor da variação mensal do conteúdo de humidade, o que por sua vez resulta na localização da linha referente ao mês em questão.

Com este tipo de exercício, mesmo que através de meios informáticos, é possível definir, com precisão, as necessidades térmicas de uma determinada configuração climática, para que posteriormente se decidam as estratégias bioclimáticas de ajustamento dos valores do estado natural do meio à zona de conforto, o que acaba por ser o grande objetivo deste estudo.

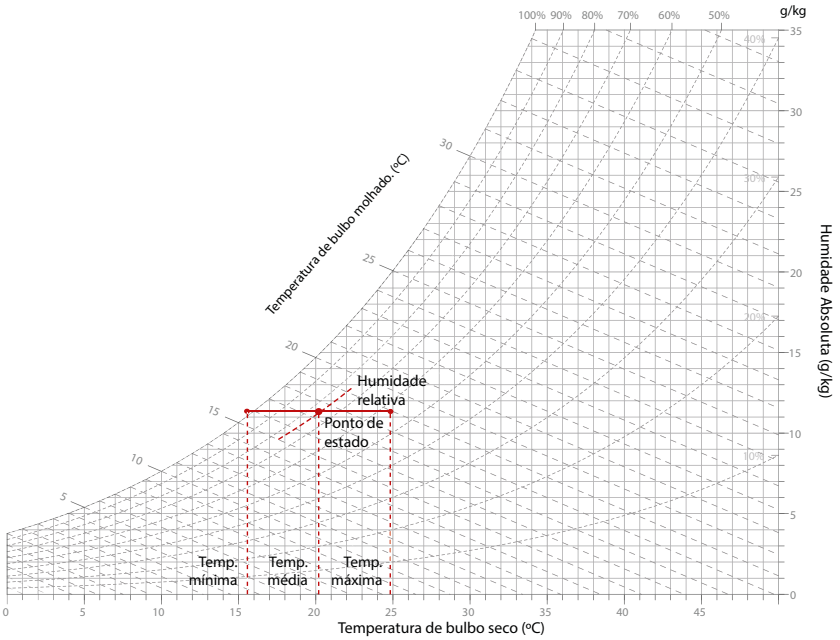


Imagem 132. Identificação do ponto de estado.

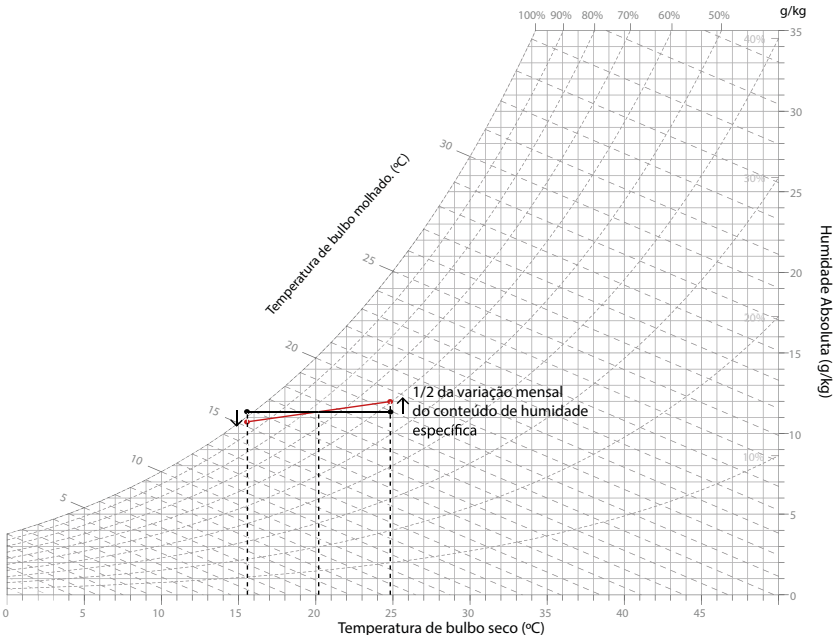


Imagem 133. Identificação da linha de estado do mês.

CARTA SOLAR C.

A carta solar acaba por ser o método de representação mais simples de registar o movimento solar, dependendo da latitude da localização em questão, para qualquer dia do ano.

Sendo o sol a principal fonte de energia que se pretende aproveitar com esta postura arquitetónica, a carta solar é uma ferramenta indispensável ao desenvolvimento da orientação do edifício que se pretende desenhar. Nesse sentido, interessa perceber a composição da mesma, para que assim a possamos dominar e utilizar a favor dos conceitos bioclimáticos que pretendemos inserir no projeto, de acordo com as necessidades térmicas.

Como exploramos nos textos anteriores, o sol apresenta um movimento aparente no céu, devido ao movimento de rotação da Terra. A compreensão deste fenómeno acaba por ser o princípio fundamental para o domínio da informação da carta solar, que consiste no desenvolvimento dos 3 conceitos básicos já abordados: Zénite, Azimute e Altura Solar[1].

1. BITTENCOURT, Leonardo. Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos. 4ªed, edUFAL. Maceió, Brasil, 2004. pág. 27

Existem vários tipos de cartas solares, de acordo com diferentes projeções do movimento aparente do sol, como é possível verificar na figura anterior. Contudo, a versão mais utilizada, e que servirá este estudo com base na geometria solar , já desenvolvida, bem como o apoio de alguns dos esquemas que se desenvolveram a par com a referida reflexão, é a projeção horizontal isométrica do movimento solar, esclarecida na figura seguinte:

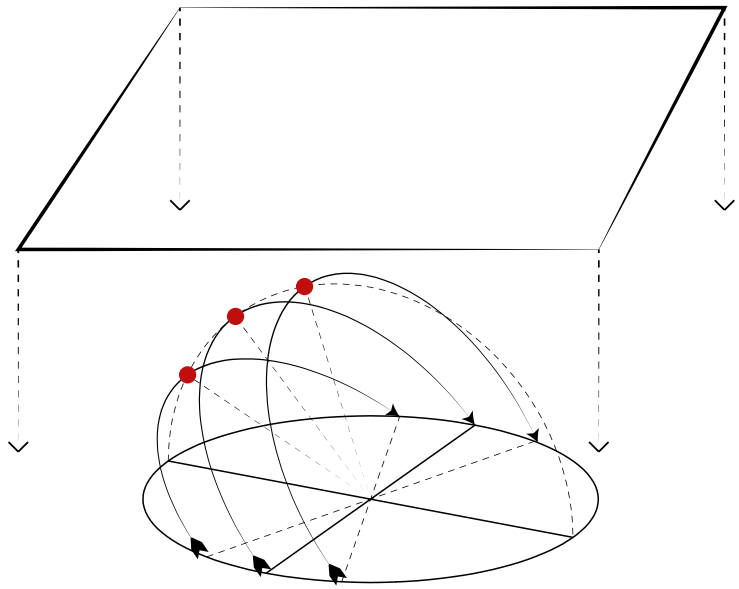


Imagem 134. Representação da projeção estereográfica em relação à geometria solar.

Este tipo de projeção apresenta uma vista superior do esquema do movimento solar, sobre o qual o individuo se localiza no centro. O referido movimento será então registado entre a projeção dos solstícios de verão e de inverno, que se apresentam como limites do percurso solar para a localização em questão.

A composição da carta solar consiste num círculo, dividido em quatro por linhas de orientação geográfica e subdividido em 360 partes por pontos de referência ao longo do seu perímetro, dos 0º aos 90º para cada quarta parte. Em relação ao círculo principal, registam-se vários outros círculos concêntricos, que representam as possíveis alturas solares, onde se registam os diferentes ângulos em relação ao solo.

Os referidos pontos de referência ao longo do perímetro, registam, por sua vez, os diferentes azimutes, ou os diferentes ângulos em relação ao Norte, que devem sempre ser explorados no sentido do relógio[2].

2. ibidem, pág. 30-33

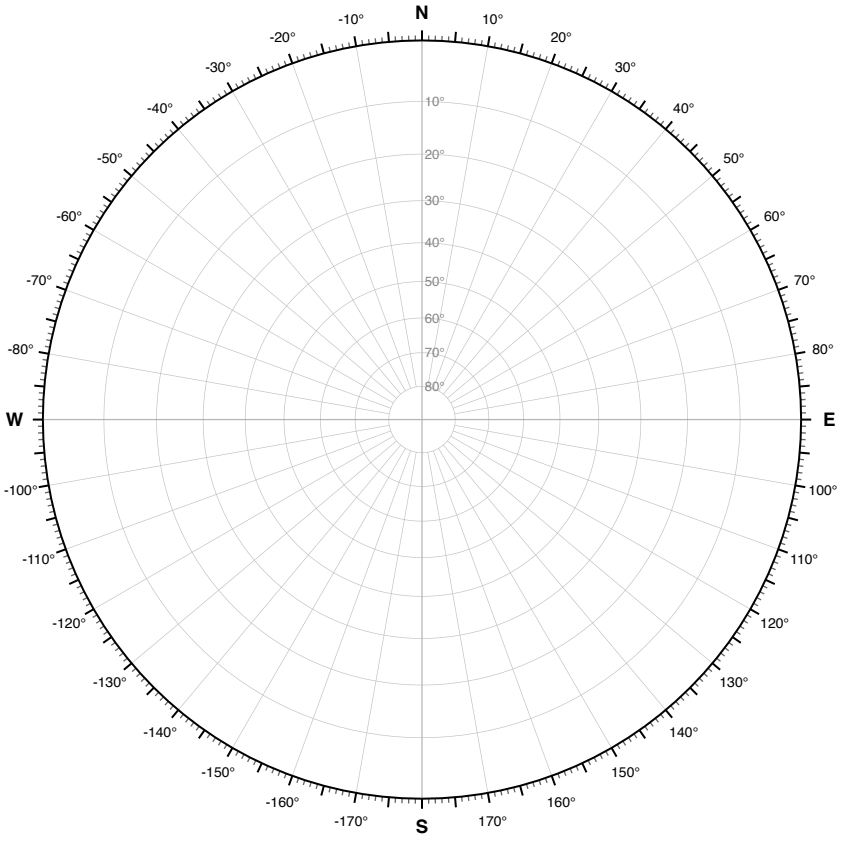


Imagem 135. Carta solar sem localização.

No interior de tal esquema encontramos a projeção do percurso solar, que apresenta várias linhas com desenvolvimento horizontal e vertical. As primeiras representam os dias do ano em que o sol incide sobre a determinada localização, enquanto que as de desenvolvimento vertical representam as horas do dia do mesmo percurso do sol.

Segundo a localização da cidade do Porto, que pode ser definida através das coordenadas de latitude e longitude (41.14961, -8.61099 respetivamente), e tendo em conta as datas que consideramos pertinentes ao longo da reflexão, a carta solar apresenta-se da seguinte forma:

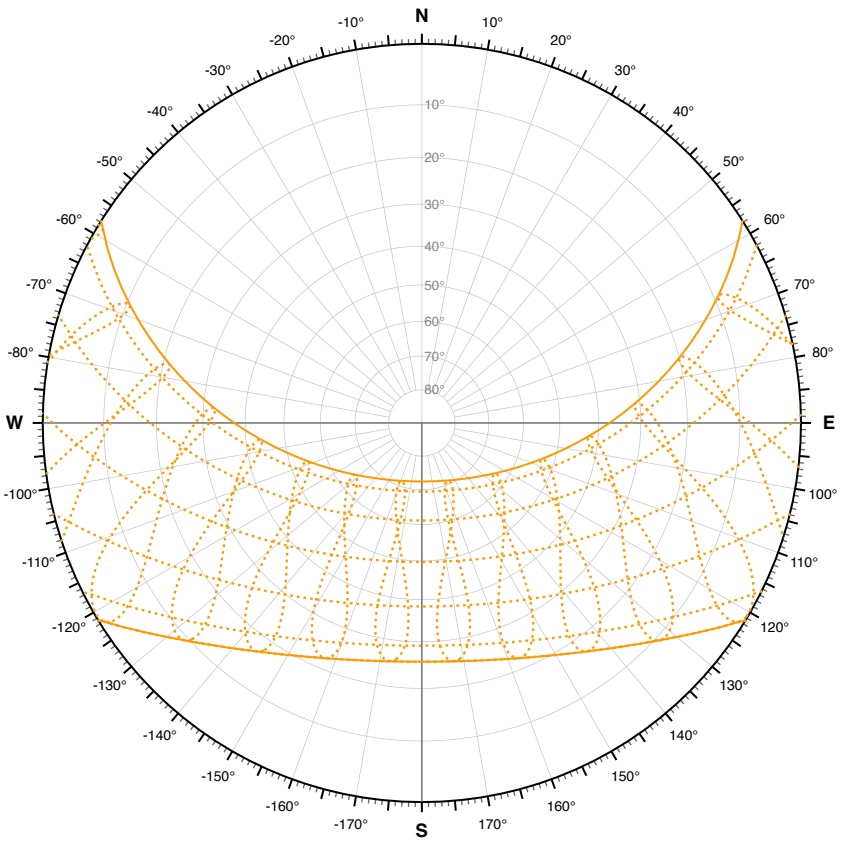


Imagem 136. Carta solar para a cidade do Porto.

A linha inferior serve de limite à representação do percurso solar e representa o solstício de inverno, a 22 de dezembro. A linha intermédia representa, por outro lado, os equinócios de primavera e outono, a 22 de março e 22 de setembro respetivamente. Finalmente, no limite superior encontramos o solstício de verão, que acontece a 22 de junho.

Todas as outras datas ficam representadas entre as referidas três linhas orientadoras, conforme os intervalos definidos pelas mesmas. Com particular exceção das linhas de solstício, todas as linhas representam duas datas no ano, na medida em que o sol, no referido período de tempo de um ano percorre o esquema de um solstício para o seguinte e retorna ao mesmo.

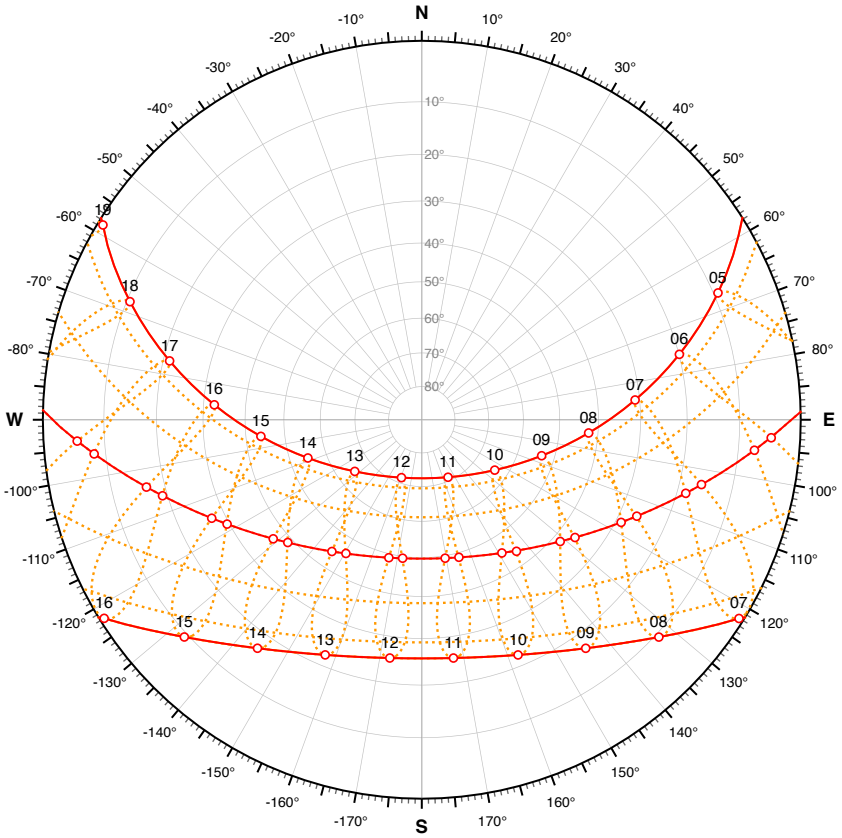


Imagem 137. Carta solar com marcação de solstícios e equinócios para a cidade do Porto.

Se dividirmos a zona da carta que regista o percurso solar em duas partes iguais em relação ao eixo vertical Norte-Sul, verificamos a diferença entre o período da manhã, à direita, e o período da tarde, à esquerda, o que facilmente se verifica pelas linhas de desenvolvimento vertical que registam as horas.

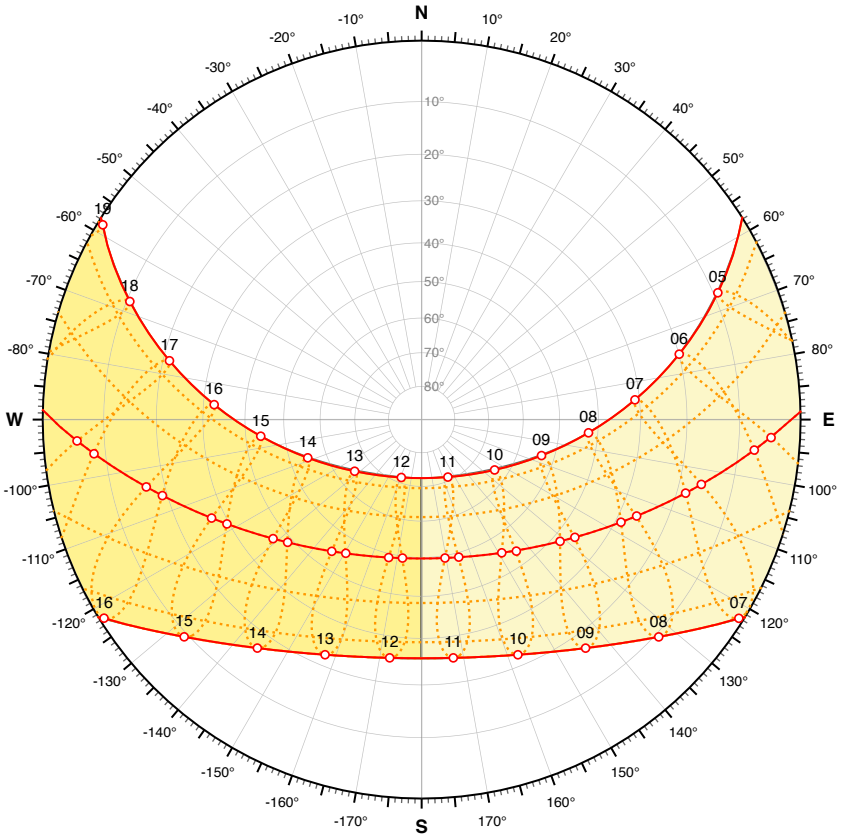


Imagem 138. Carta solar com separação entre manhã e tarde para a cidade do Porto.

De forma a identificar o azimute e a altura solar de qualquer dia do ano, a qualquer hora, com o auxílio da carta solar, é necessário identificar a linha de desenvolvimento horizontal da data em questão, e a linha de desenvolvimento vertical da hora em questão. Da interseção entre as duas linhas, traçamos uma linha reta até ao centro, que ao ser projetada até ao círculo perimetral, identifica o seu grau em relação ao norte, no sentido do relógio, valor que representa o azimute. Em relação à altura solar, apenas necessitamos de identificar o círculo concêntrico que contem o ponto de interseção identificado, segui-lo até à linha horizontal que representa o Norte e verificar o ângulo[3].

3. BITTENCOURT, Leonardo (2004). Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos. 4ªed, edUFAL. Maceió, Brasil. Pág 39-40

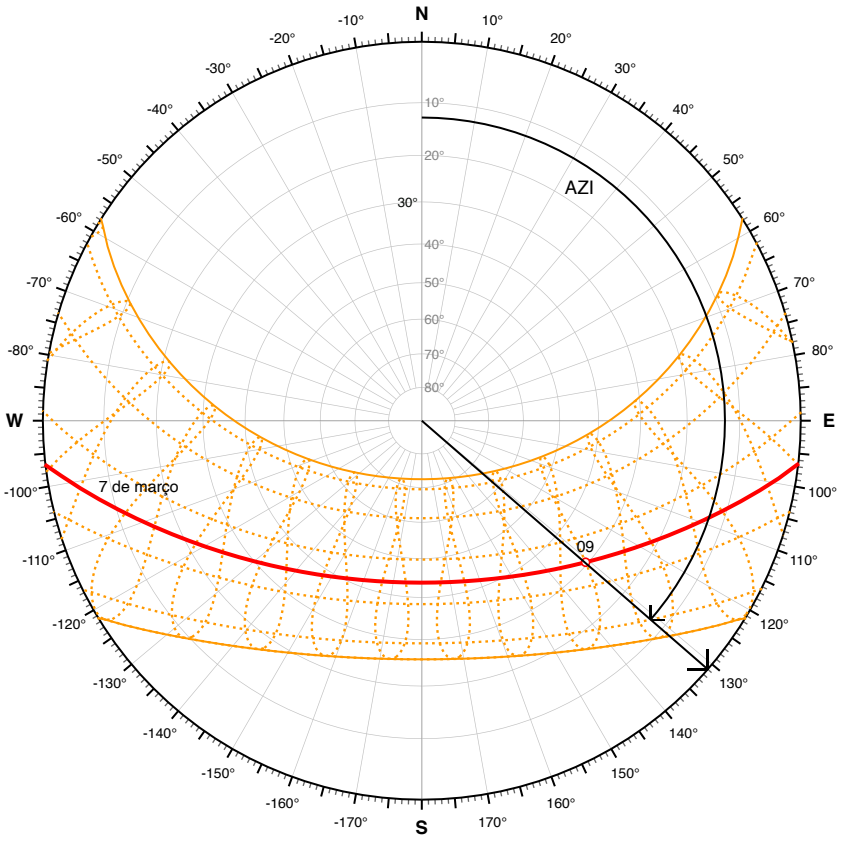


Imagem 139. Identificação do azimute para o dia 7 de março, às 9h na cidade do Porto.

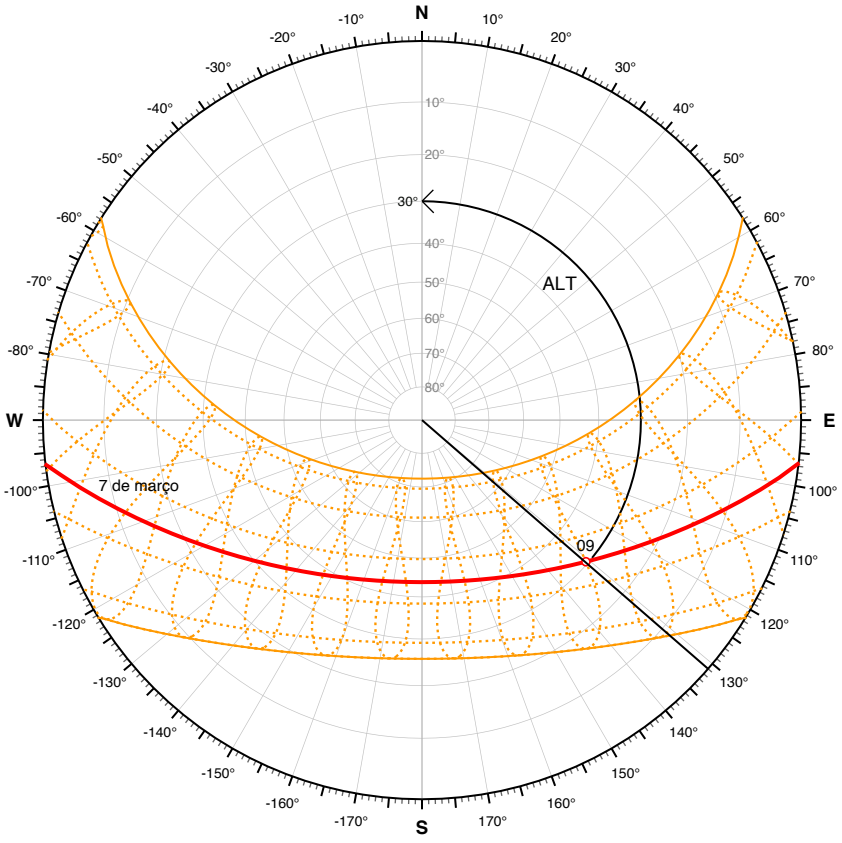


Imagem 140. Identificação da altura solar para o dia 7 de março, às 9h na cidade do Porto.

O tipo de carta solar desenvolvido acima será então um instrumento muito útil ao projeto de arquitetura, na medida em que se assemelha à sua projeção mais elementar: a planta. Por este motivo, a relação entre a orientação do edifício e a carta solar referente ao local de implantação do mesmo é direta, pelo que é possível identificar as possibilidades de aproveitamento de energia solar nas suas diferentes orientações. Tal exercício consiste na identificação gráfica simplificada[4], sobre o movimento aparente do sol, das estações do ano, para posterior divisão da mesma por orientação, como é possível verificar nas imagens da página seguinte.

4. Ter em atenção que este método não representa as estações do ano de forma precisa, é apenas uma ideia geral.

A simplificação da representação das estações do ano consiste numa aproximação das estações às zonas das datas de solstícios e equinócios correspondentes. Neste sentido desenvolve-se uma área correspondente à estação de verão no topo da carta solar, perto do solstício de verão; uma área intermédia correspondente às estações de primavera e outono, que por sua vez se estende a partir das datas de equinócio; e por fim, uma área correspondente à estação de inverno, na zona inferior da carta solar, que se aproxima do solstício de inverno. Assim, é possível identificar, a cada estação, a presença do sol sobre as diversas orientações, o que pode ser afinado por data e hora, como exploramos anteriormente.

Podemos então concluir que,, para a localização da cidade do Porto, o sol revela um percurso com predominância a sul durante a maior parte do ano, seja qual for a estação do ano. Em relação a nascente e poente, considerando a separação entre manhã e tarde já explorada, verifica-se a presença do sol sobre as mesmas durante todo ano, com a principal diferença na hora do dia. A norte, a presença do sol regista-se algo residual, o que faz com que esta seja a orientação menos favorável ao aproveitamento da energia solar. Ainda assim, verifica-se que durante o verão e parte das estações de primavera e outono, se pode verificar alguma presença do sol, com tendência nascente ou poente, consoante a hora do dia.

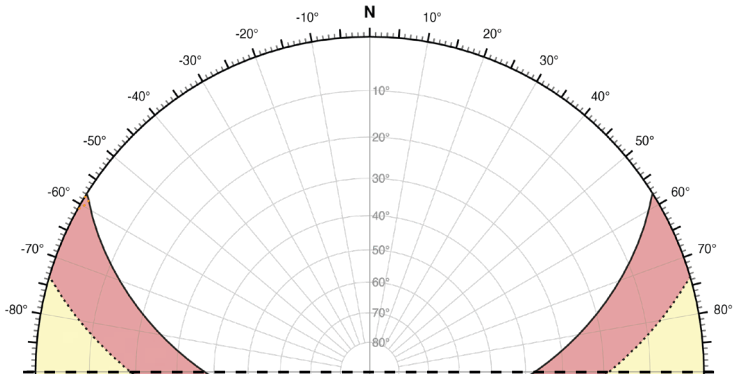


Imagem 141. Incidência solar a norte, na cidade do Porto.

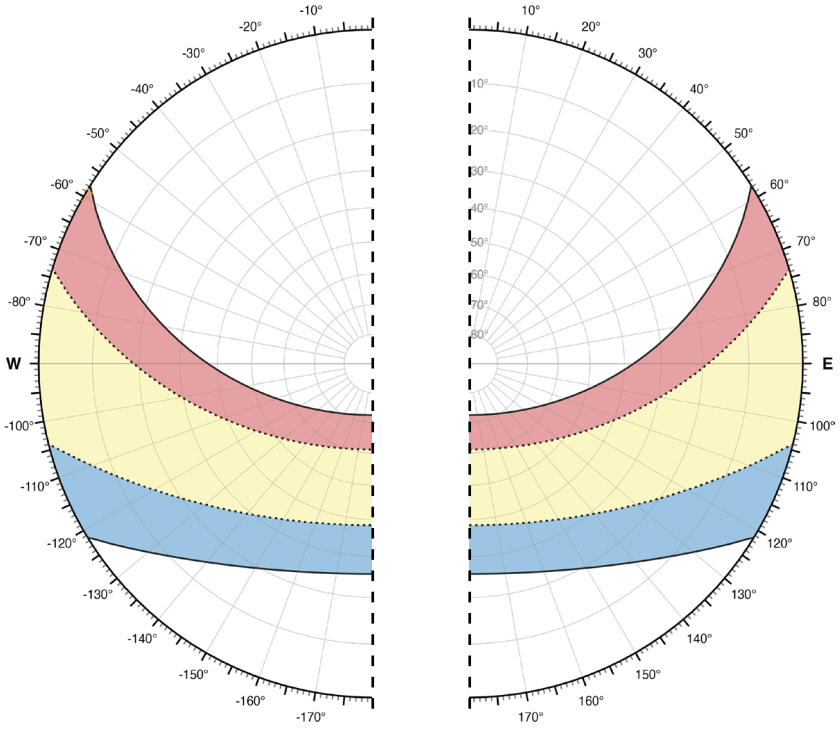


Imagem 142 (à esquerda). Incidência solar a poente, na cidade do Porto.

Imagem 143 (à direita). Incidência solar a nascente, na cidade do Porto.

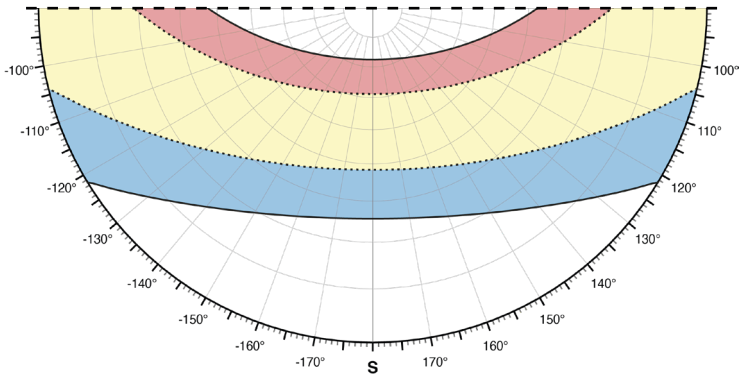


Imagem 144. Incidência solar a sul, na cidade do Porto.

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO KÖPPEN-GEIGER D.

O sistema Köppen-Geiger, publicado pela primeira vez em 1900, e desenvolvido continuamente até 1940 pelo primeiro autor, é o modelo mais utilizado na classificação das configurações climáticas ao nível global, pela disciplina da climatologia, no ramo científico da meteorologia. O sistema de classificação Köppen-Geiger apresenta cinco grandes grupos de configurações climáticas, baseados na relação entre localização, temperatura e precipitação

Ao grupo maior, composto por cinco letras, de A a E, que por sua vez representam as regiões do globo um pouco à imagem do sistema de Atkinson, juntam-se dois subgrupos que representam a precipitação e a temperatura, respetivamente, de cada configuração climática, que apenas são desenvolvidas quando há necessidade para tal. Devemos ainda ter em conta que este sistema não distingue estações do ano, mas define duas estações, uma quente e uma fria, com a duração de seis meses cada, alternadas entre os dois hemisférios[1].

1. ARNFIELD, A. John. Köppen climate classification. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of--major-climatic-types

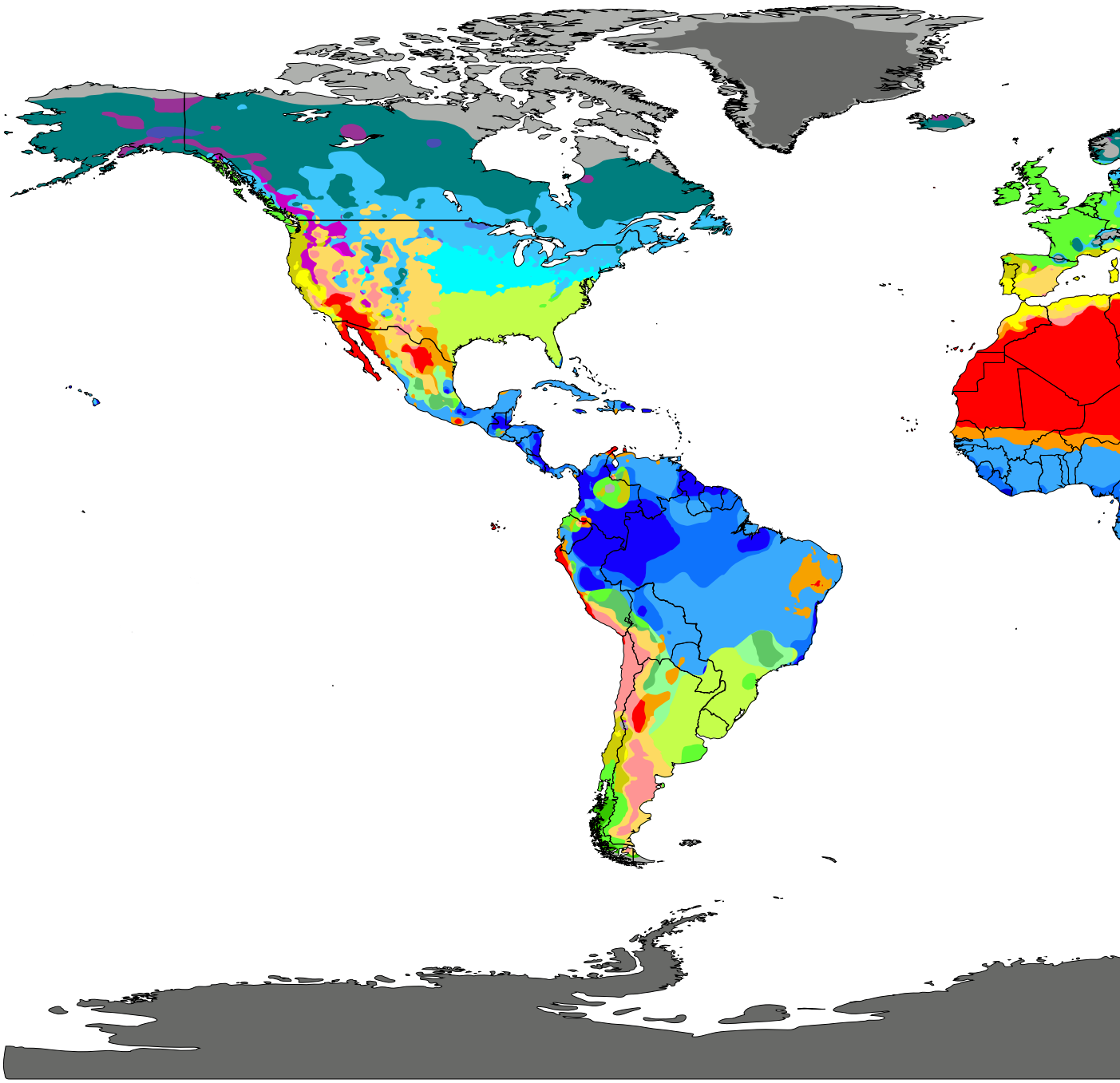
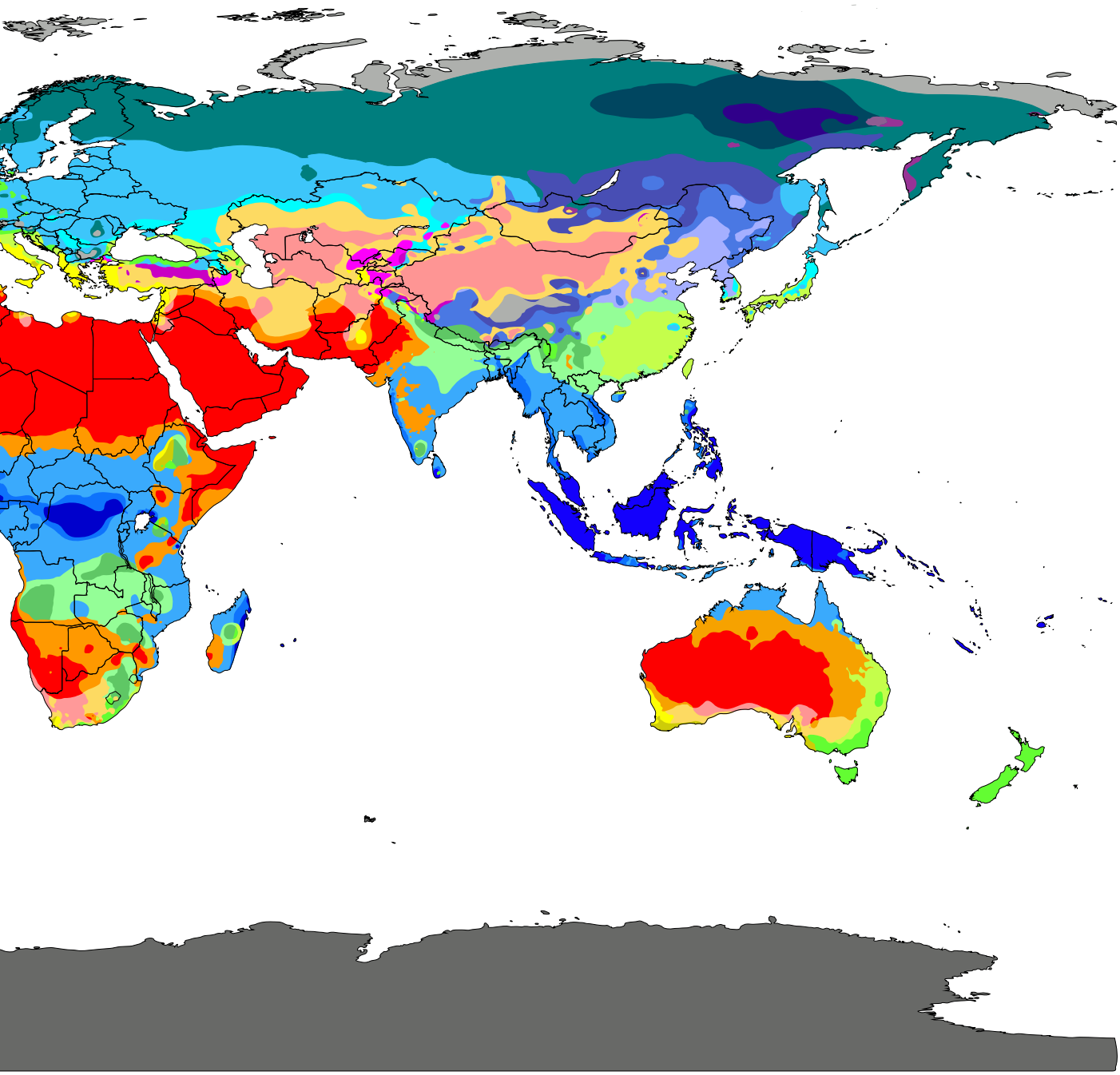


Imagem 145. Classificação climática de Köppen-Geiger.



Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa	Dwa	Dfa	ET		
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb	Dwb	Dfb	EF		
Aw	BSh	Csc	Cwc	Cfc	Dsc	Dwc	Dfc			
As	BSk				Dsd	Dwd	Dfd			

O grupo A representa as regiões tropicais, que se caracterizam por uma temperatura média superior a 18ºC e precipitação significativa. Composto por regiões com temperaturas semelhantes, anula-se o terceiro subgrupo e dedica-se a divisão à precipitação[2]:

Af – Clima equatorial;
Am – Clima de monção;
Aw ou As – Clima de savana.

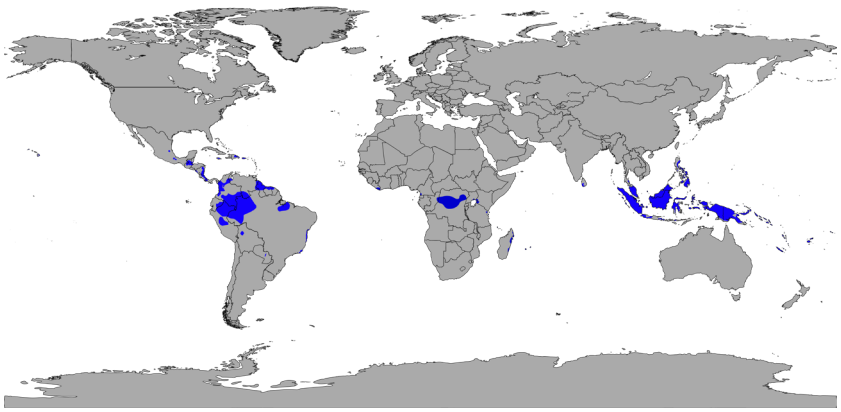


Imagem 146. Classificação climática de Köppen-Geiger - Af.

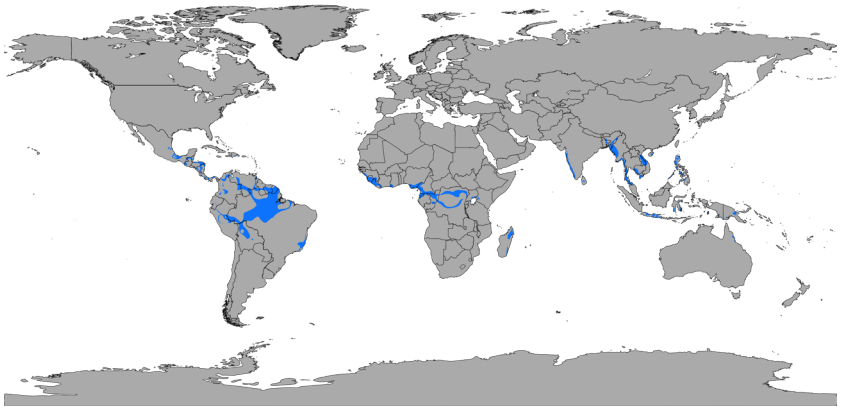


Imagem 147. Classificação climática de Köppen-Geiger - Am.

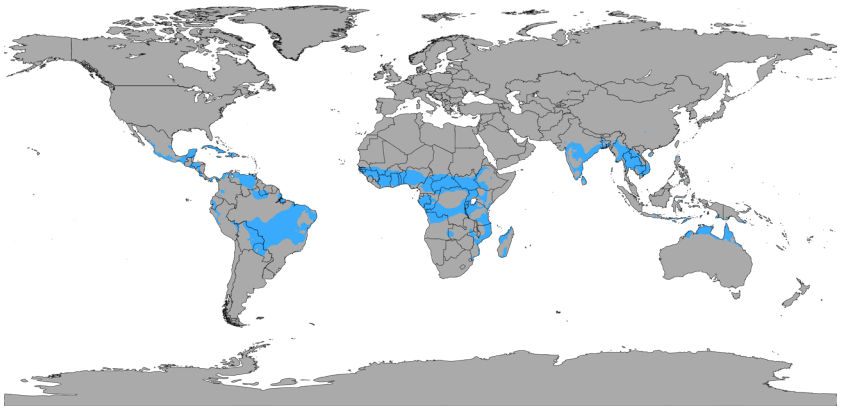


Imagem 148. Classificação climática de Köppen-Geiger - Aw/As.

2. ARNFIELD, A. John. Köppen climate classification. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of--major-climatic-types

O grupo B representa as regiões secas, que por sua vez, se caracterizam pelos seus baixos níveis de precipitação, que ainda assim são diferenciadas entre regiões secas áridas e semiáridas. Tal diferenciação é apurada através de um cálculo próprio de relação entre humidade e temperatura, cujos resultados se dividem entre as classificações áridas e semiáridas[3].

3. idem.

Com uma influência significativa da temperatura, este grupo sub-categoriza-se da seguinte forma:

BWh – Clima árido quente
BWk – Clima árido frio

BSh – Clima semiárido quente
BSk – Clima semiárido frio

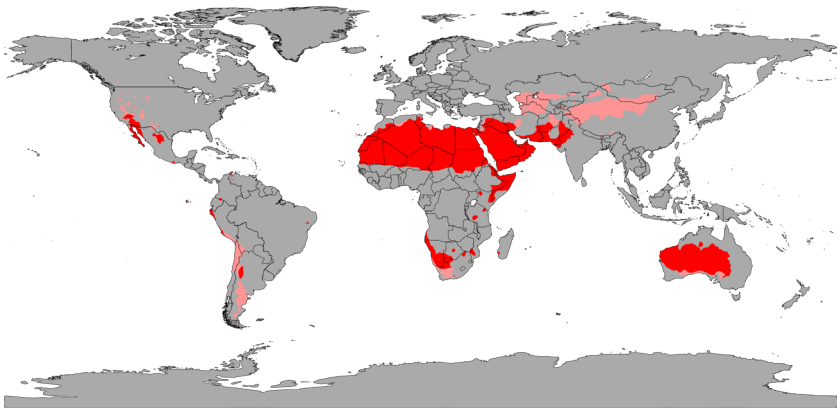


Imagem 149. Classificação climática de Köppen-Geiger - BWh/BWk.

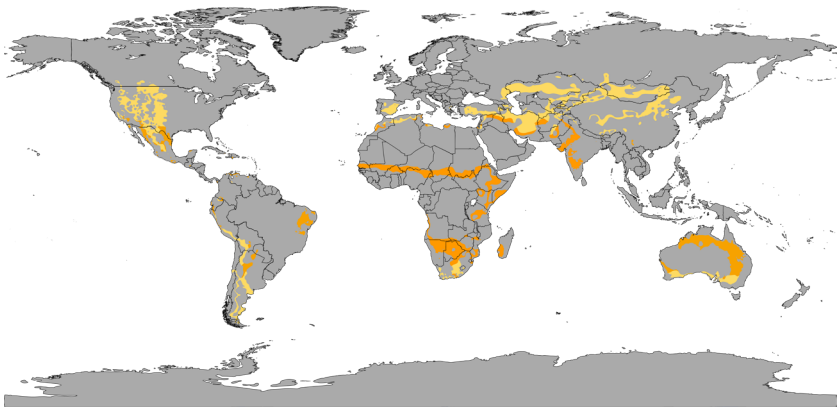


Imagem 150. Classificação climática de Köppen-Geiger - BSh/BSk.

O grupo C representa as regiões temperadas, que por sua vez são caracterizadas por grandes amplitudes térmicas sazonais, com o mês mais frio com médias de temperatura entre os -3ºC e os 18ºC, e o mês mais quente com temperatura média acima dos 10ºC[4].

Como é possível verificar na figura seguinte, a Europa Ocidental é composta por climas deste tipo, pelo que Portugal se insere nesta categoria. O recorte geográfico ocidental da Europa é muito influenciado pelas superfícies aquáticas que o rodeiam, pelo que não apresenta muita profundidade continental para desenvolver tipos climáticos que se afastem dos que se verificam no perímetro do mesmo. Assim, sendo este o tipo de clima que pretendemos abordar neste estudo, procedemos à caracterização mais detalhada de cada subtipo de forma a afinar o conhecimento acerca dos valores gerais que compõem tal configuração climática, com o objetivo de aproximar até aos subtipos que interessam ao nível nacional.

Com a caracterização da primeira letra assegurada acima, em relação aos níveis de precipitação[5]:

s – os valores de precipitação no mês mais seco da metade mais quente do ano são menores que 30 mm e representam um terço da precipitação do mês mais húmido da metade mais fria do ano

w – os valores de precipitação no mês mais seco da metade mais fria do ano representam menos de um décimo da quantidade de precipitação no mês mais húmido da metade mais quente do ano

f – os valores de precipitação são mais uniformes ao longo do ano, o que significa que os critérios para s ou w não são satisfeitos

4. ARNFIELD, A. John. Köppen climate classification. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of--major-climatic-types

5. idem.

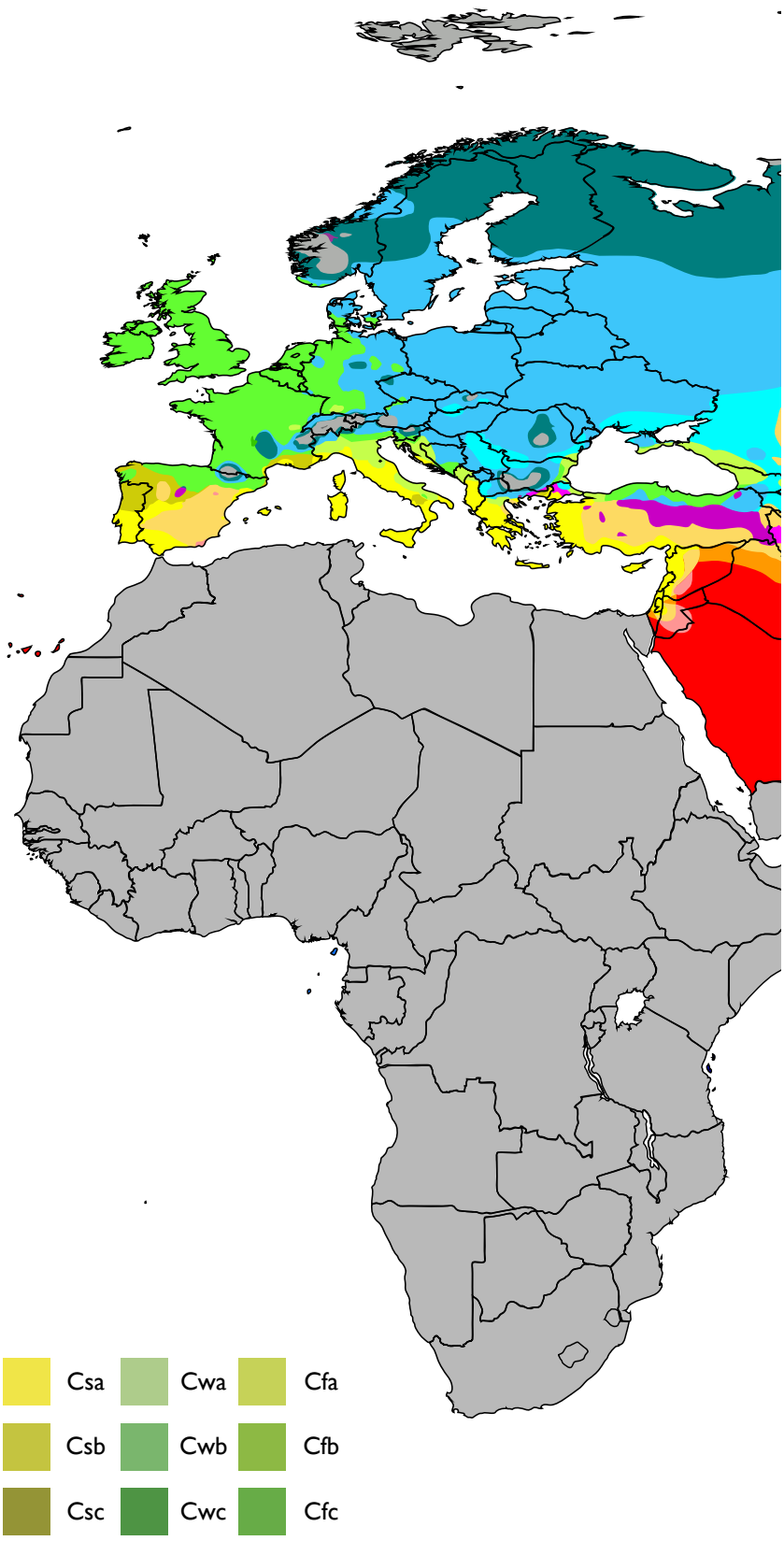


Imagem 151. Classificação climática de Köppen-Geiger.

Em relação à temperatura[6]:

a – quando a temperatura média do mês mais quente ultrapassa os 22ºC

b – quando a temperatura média para cada um dos quatro meses mais quentes é superior a 10ºC mas o mês mais quente não ultrapassa os 22ºC

c – quando a temperatura média de um a três meses do ano é superior a 10ºC mas o mês mais quente não ultrapassa os 22ºC

6. ARNFIELD, A. John. Köppen climate classification. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of--major-climatic-types

Assim que juntamos os subtipos climáticos aos critérios do grupo maior das regiões temperadas, resultam os seguintes[7]:

Csa – Clima mediterrânico com verão seco e quente
Csb – Clima mediterrânico com verão frio e seco
Csc – Clima mediterrânico com verão frio

Cwa – Clima subtropical húmido
Cfa – Clima subtropical húmido

Cwb – Clima subtropical de altitude
Cwc – Clima subtropical frio de altitude
Cfb – Clima oceânico temperado
Cfc – Clima oceânico subpolar

7. NWS, Addition Köppen--Geiger climate subdivisions. Acedido em: 9, 06, 2020, em: https://www.weather.gov/jetstream/climate_max

Segundo o IPMA, a Península Ibérica é classificada como parte do grupo de configurações climáticas do tipo temperado (C) por uma relação equilibrada entre temperatura e humidade, com especial consideração pela influência das grandes superfícies aquáticas do Oceano Atlântico e do Mar Mediterrâneo, embora se verifiquem grandes amplitude térmicas diárias e sazonais.

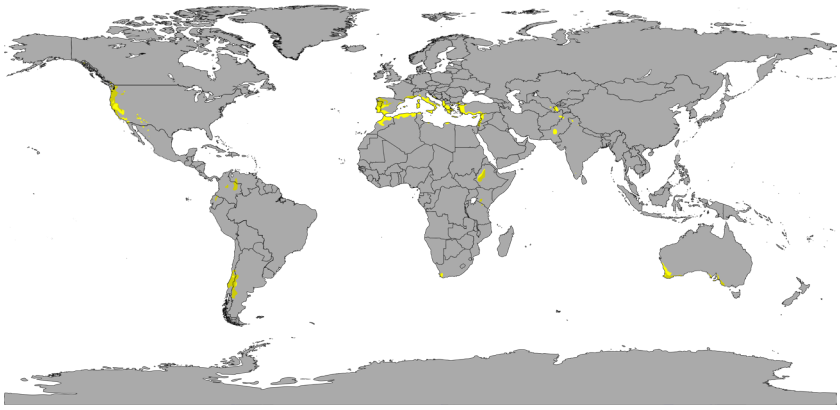


Imagem 152. Classificação climática de Köppen-Geiger - Csa/Csb/Csc.

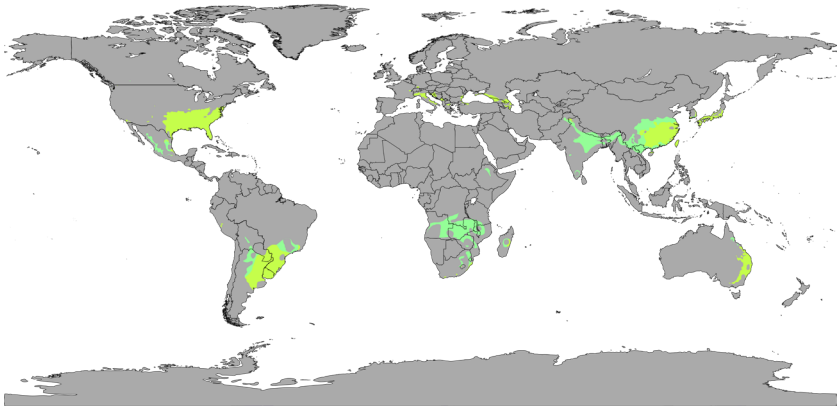


Imagem 153. Classificação climática de Köppen-Geiger - Cwa/Cfa.

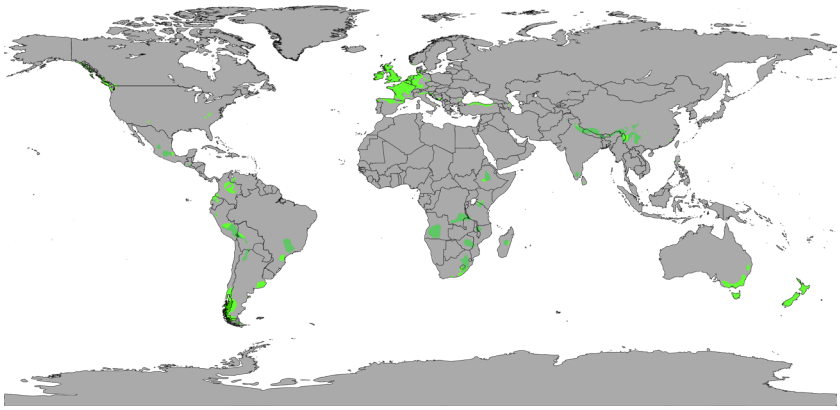


Imagem 154. Classificação climática de Köppen-Geiger - Cwb/Cwc/Cfb/Cfc.

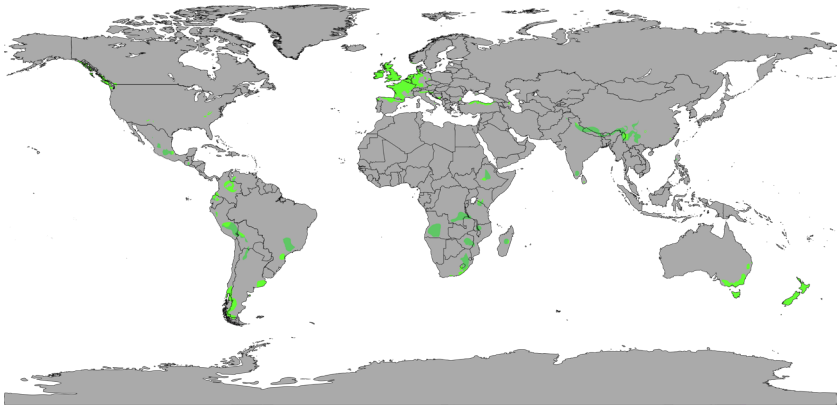


Imagem 155. Classificação climática de Köppen-Geiger - Cfb/ Cwb - Climas de altitude.

O grupo D representa as regiões continentais e subárticas, caracterizadas com, pelo menos, um mês com temperatura média abaixo dos 0ºC e um mês com temperatura média superior a 10ºC[8].

Com uma certa influencia de ambas temperatura e humidade, distinguem-se nos seguintes subtipos:

Dfa – Clima continental húmido com verão quente
Dwa – Clima continental húmido com verão quente
Dsa – Clima continental húmido com verão quente e influência mediterrânea

Dfb – Clima continental húmido com verão fresco
Dwb – Clima continental com verão fresco
Dsb – Clima continental húmido com verão fresco e influência mediterrânea

Dfc – Clima Subártico sem estação seca
Dwc – Clima subártico
Dsc – Clima subártico com estação seca
Dfd – Clima subártico frio sem estação seca
Dwd – Clima subártico frio
Dsd – Clima subártico frio com estação seca

Por fim, o grupo E representa as regiões polares e alpinas, que se caracterizam por uma constante temperatura média abaixo dos 10ºC durante todo o ano, e que se dividem em dois subgrupos[9]:

ET – Clima de tundra
EF – Clima Glaciar

O clima glaciar é o mais hostil à vida humana, com estações frias de 12 meses e temperaturas médias anuais abaixo dos 0ºC. Por outro lado, o clima temperado à partida parece ser o mais favorável.

8. ARNFIELD, A. John. Köppen climate classification. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of--major-climatic-types

9. idem.

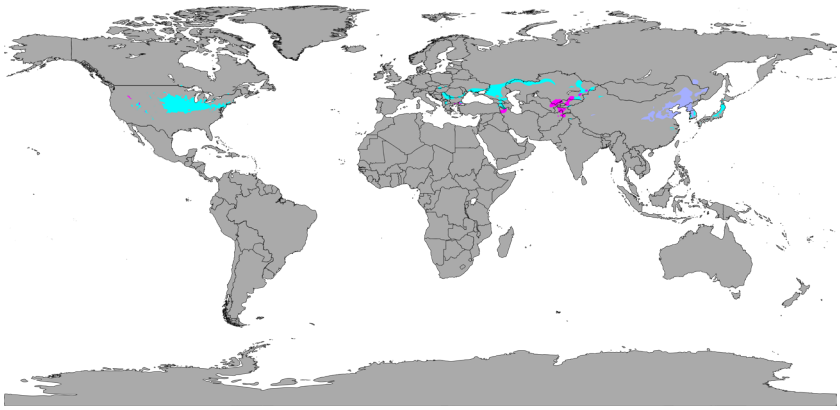


Imagem 156. Classificação climática de Köppen-Geiger - Dfa/Dwa/Dsa.

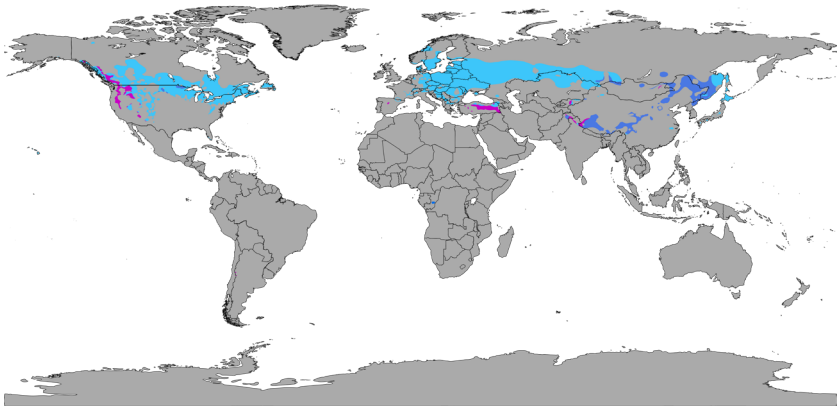


Imagem 157. Classificação climática de Köppen-Geiger - Dfb/Dwb/Dsb.

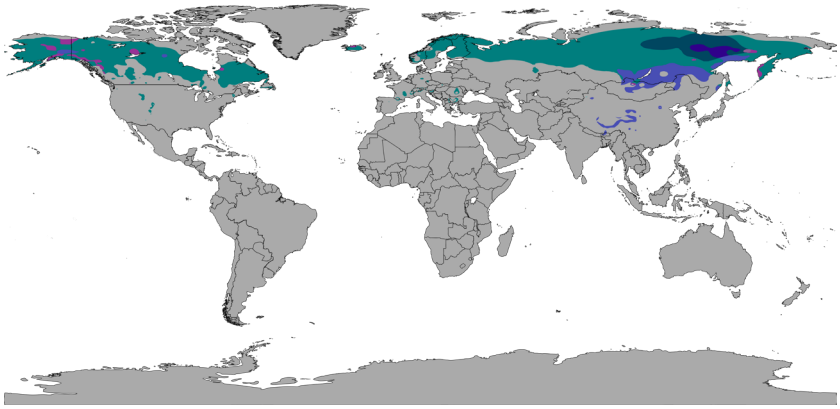


Imagem 158. Classificação climática de Köppen-Geiger - Dfc/Dwc/Dsc/Dfd/Dwd/Dsd.

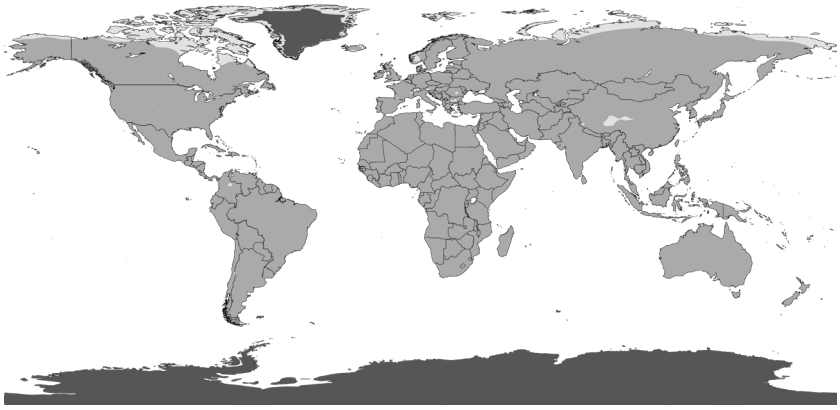


Imagem 159. Classificação climática de Köppen-Geiger - ET/FT.

DIVISÃO CLIMÁTICA RCCTE E.

A divisão climática do país em três zonas de inverno e de verão ajuda os projetistas a reconhecer as necessidades térmicas das diferentes localizações em Portugal. Tal sistema pode ser muito útil na identificação da potencialidade do local e é o primeiro princípio para o cumprimento integral do regulamento.

Neste anexo, podemos verificar de que forma se desenvolve a referida divisão e como a mesma se aplica ao objeto de estudo, com os principais valores a considerar para um projeto de arquitetura que se verifique conforme a legislação.

O mais recente Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, à semelhança da versão de 1990, prevê uma divisão climática do país em três zonas de inverno e três zonas de verão[1]. Contudo, verificam-se algumas alterações na definição dos limites do referido zonamento e da sua adaptação à divisão por concelhos, face a[2]:

- novas condições de referencia para o espaço interior (20ºC no inverno e 25ºC no verão);

- dados climáticos atualizados;

- novas ferramentas informáticas que possibilitam um tratamento dos dados aprimorado.

Os limites das três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) foram estabelecidos a partir do número de graus dias[3] de aquecimento na base de 20ºC (GD20), e estão representados na figura superior[4].

Para as regiões autónomas da Madeira e dos Açores, o critério aplica-se por altitude[5], sendo que:

Para a região Autónoma da Madeira:

I1 – até 800m de altitude
I2 – entre 800m e 1100m de altitude
I3 – acima de 1100m de altitude

E para a Região Autónoma dos Açores:

I1 – até 600m de altitude
I2 – entre 600m e 1000m de altitude
I3 – acima de 1000 m de altitude

1. INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Ineti, Lisboa, 2006. pág 9

2. idem.

3. O valor GD (graus dias) é um método de cálculo estático utilizado para a determinação das necessidades térmicas de aquecimento. Este representa o somatório das diferenças positivas entre Ti (temperatura interior de projecto) e Ta (temperatura do ambiente exterior) média ao longo do período de aquecimento.

4. INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Ineti, Lisboa, 2006. pág 9

5. ibidem, pág 10

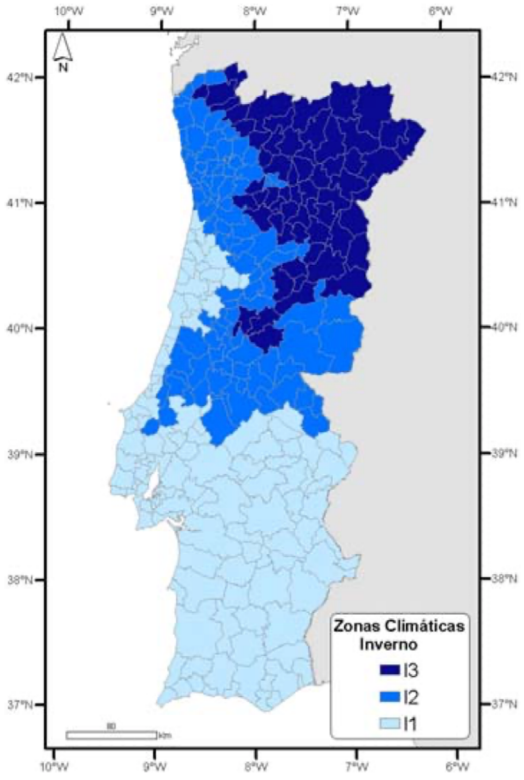


Imagem 160. Classificação da estação de aquecimento de Portugal.

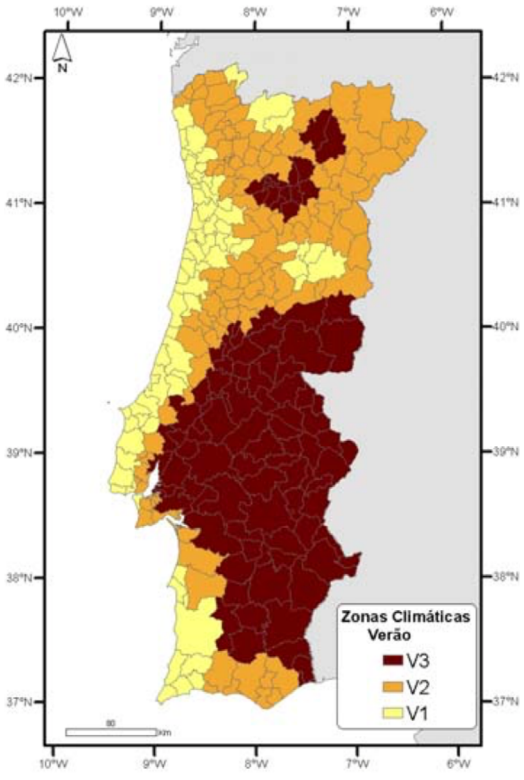


Imagem 161. Classificação da estação de arrefecimento de Portugal.

Os limites das zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3), por sua vez foram estabelecidos com base nos valores atualizados de temperatura exterior do projeto de verão, à qual corresponde a temperatura seca do ar exterior que não excedo, durante mais que 2,5% do período correspondente à estação de arrefecimento, de 1 de junho a 30 de setembro. No caso das zonas climáticas de Verão, ambas as regiões autónomas são classificadas com V1[6].

6. INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Ineti, Lisboa, 2006. pág.10

Em apoio à verificação da satisfação das exigências da aplicação do regulamento, assim como ao cálculo dos valores nominais das necessidades de aquecimento e arrefecimento, o próprio regulamento disponibiliza um quadro que discrimina o zonamento climático, tanto de inverno como de verão, por concelhos[7].

7. ibidem, pág.12-17

Para além dessa classificação, o quadro regista ainda os dados climáticos de referência úteis ao cálculo das necessidades nominais de aquecimento no inverno[8]:

8. ibidem, pág. 11

- nº de graus dias de aquecimento correspondentes à estação de aquecimento;

- duração da estação convencional de aquecimento.

Para as necessidades nominais de arrefecimento, os dados climáticos de referência de verão são apresentados num outro quadro disponibilizado pelo regulamento. Com base no objeto de estudo desenvolvido para esta dissertação, recorremos ao referido quadro para verificar os valores referente à cidade do Porto[9]:

9. ibidem, pág. 15

Concelho – Porto
Zona climática de inverno – I2
Nº Graus dias – 1610
Duração da estação de aquecimento (meses) – 6,7
Zona climática de verão – V1

De referir ainda que, em Portugal Continental, para uma determinada localidade, se deve considerar a altitude e a proximidade à costa litoral, de forma a fazer ajustes da zona climática quando necessário[10].

10. ibidem, pág. 17

No caso da cidade do Porto, para o terreno escolhido, na zona de Campanhã, tais ajustes aplicam-se, não pela altitude do local, que por sua vez apenas se aplica quando a mesma ultrapassa os 400m, no mínimo, mas sim pela proximidade à costa litoral. O terreno em questão apresenta uma distância de cerca de 10km em relação à linha costeira, valor considerado como mínimo suficiente para se verificar uma alteração sobre a sua classificação climática[11]. A transformação proveniente de tais ajustes, converte o registo apresentado anteriormente no seguinte:

11. ibidem, pág.17-18

Zona climática de inverno – I1
Nº Graus dias – 1610
Duração da estação de aquecimento (meses) – 6,7
Zona climática de verão – V2

Para além dos valores de graus dias e da duração da estação de aquecimento, o cálculo dos ganhos solares uteis de inverno implica a consideração pelos valores de referência da energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul, cujos valores são disponibilizados pelo regulamento com os seguintes registos[12]:

12. ibidem, pág. 18

Zona Climática	G sul – kWh/m2.mês
I1	108
I2	93
I3	90

Segundo a localização à qual se dedica este estudo, o valor de referência é de 108 kWh/m2.mês.

BIBLIOGRAFIA

BANHAM, Reyner. *The architecture of the Well-tempered Environment.* University of Chicago, Chicago, 1969.

BITTENCOURT, Leonardo. *Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos.* 4ªed, edUFAL. Maceió, Brasil, 2004.

DANZ, Ernst. *La arquitectura y el sol. protección solar de los edifícios.* Gustavo Gili. Barcelona, 1967.

DEKAY, Mark. *Sun, Wind & Light, architectural design strategies.* 3ª edição, Wiley. New Jersey, 2014

EDWARDS, Brian. *Guia básica de la sostenibilidad.* Gustavo Gili. Barcelona, 2001.

GIVONI, Baruch. *Confort, climate analysis and building design guidelines.* Energy and Buildings. 18: 11-23, 1992

GIVONI, Baruch. *Man, Climate and Architecture.* 2ª ed., Applied Science Publishers, London, United Kingdom, 1976.

INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Ineti, Lisboa, 2006.

MAZRIA, Edward. *The passive solar energy book. A complete guide to passive solar home, greenhouse and building design.* Rodale Press, Emmaus. United States of America, 1979.

MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010.

OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963.

PEZZI, Carlos Hernández. *Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible.* 7ª ed., Gustavo Gili. Barcelona, 2010.

PLASS, Gilbert N. *The carbon dioxide theory of climate change*. The Johns Hopkins University, Baltimore, 1956.

SANTOS, Filipe Duarte. *A física das alterações climáticas.* Gazeta de Física. A física e a vida. 36: 48-57, 2005.

SCHMID, Aloísio Leoni. *A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído.* Pacto Ambiental. Curitiba, 2005.

SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999.

SERRA, Rafael. *Arquitectura y energia natural.* Edicions de la Universitat Politécnica de Catalunya. Barcelona, 1995.

SZOKOLAY, Steven V. *Energia solar y edificacion.* BLUME. Barcelona, 1982.

SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004.

SZOKOLAY, Steven V. *Solar geometry.* 2ª ed., Department of Architecture, The University of Queensland. Brisbane, 2007.

WACHBERGER, Michael y Hedi. *Construir con el sol. Utilización de la energia solar passiva.* Gustavo Gili. Barcelona, 1984.

WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos.* 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019.

WEBGRAFIA

The carbon dioxide greenhouse effect. Acedido em 11, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/co2.htm

IPPC(2001). *Climatic system: an overview.* Acedido em: 10, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-01.pdf

STRUIK, Dirk Jan (2020). *Joseph Fourier.* Acedido em: 13, 07, 2020, em: https://www.britannica.com/biography/Joseph-Baron-Fourier

BARTON, Ruth (2020). *John Tyndall.* Acedido em: 13, 07, 2020, em https://www.britannica.com/biography/John-Tyndall

CRAWFORD, Elisabeth (2020). *Svante Ahrrenius.* Acedido em: 13, 07, 2020, em: https://www.britannica.com/biography/Svante-Arrhenius

Greenhouse Speculations: Ahrrenius and Chamberlin. Acedido em 13, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/co2.htm

APPLEGATE, Zoe (2013). *Guy Stewart Callendar: Global warming discovery marked.* Acedido em: 15, 07, 2020, em: https://www.bbc.com/news/uk-england-norfolk-22283372

Skepticism (1900-1940s). Acedido em 15, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/co2.htm

Roger Revelle's discovery. Acedido em 20, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/co2.htm

Money for Keeling: Monitoring CO2 levels. Acedido em 20, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/co2.htm

General circulation models of climate. Acedido em 24, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/GCM.htm

International cooperation. Acedido em 24, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/internat.htm

Government: The View from Washington, DC. Acedido em 29, 07, 2020, em: https://history.aip.org/climate/Govt.htm

IPCC (2014). *Fifth Assessent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

ISEG (2016). *Estudo sobre a pobreza energética em Portugal.* Acedido em: 5, 08, 2020, em: https://www.edp.com/pt-pt/partilha-do-conhecimento/estudo-pobreza-energetica

ARNFIELD, A. John. *Köppen climate classification.* Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major-climatic-types

NWS, *Addition Köppen-Geiger climate subdivisions.* Acedido em: 9, 06, 2020, em: https://www.weather.gov/jetstream/climate_max

Instituto de Meteorologia (2011). *Atlas Climático Ibérico.* Acedido em: 11, 06, 2020, em: http://www.ipma.pt/resources.www/docs_pontuais/ocorrencias/2011/atlas_clima_iberico.pdf

IPMA. *Normas Climatológicas*, Acedido em: 11, 06, 2020, em: https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true

2-D Sunpath. Acedido em: 23, 06, 2020, em: http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html

Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/

ÍNDICE DE IMAGENS

INTRODUÇÃO

1. **EuroStat (2017). Greenhouse gas emissions** (Source: EEA). Acedido em: 4 de dezembro de 2019, em: https://ec.europa.eu/eurostat/data/database
2. **EuroStat (2017). Populations unable to keep home adequately warm by poverty status.** Acedido em: 4 de dezembro de 2019, em: https://ec.europa.eu/eurostat/data/database

1. SUTENTABILIDADE EM ARQUITETURA: TEMAS E PROBLEMAS

3. **IEA (2013). Emissão de GEE por setor económico, em 2010.** IPCC (2014). *Fifth Assessent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 7, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/
4. **IEA (2013). Consumo energético final em edifícios residenciais à escala mundial, em 2010.** IPCC (2014). *Fifth Assessent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 7, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/

2. ARQUITETURA E CLIMA: ALGUMAS FERRAMENTAS DE PROJETO

5. **A procura pelo conforto ambiental.** SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 18
6. **Trocas térmicas do corpo humano.** SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 20
7. **Olgyay's bioclimatic chart, converted to metric, modified for warm climates.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 21
8. **Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no primeiro trimestre do ano.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrome
9. **Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no segundo trimestre do ano.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrome
10. **Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no terceiro trimestre do ano.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrome
11. **Identificação das necessidades térmicas da cidade do Porto no quarto trimestre do ano.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrome
12. **Domínio do espectro da radiação solar (à direita aumentado) situado na generalidade do espectro eletromagnético.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 21
13. **A distribuição da radiação solar na superfície terrestre é dada pelas linhas de radiação solar média anual (MWh/m²/a). No quadrado a negro, a radiação dolar por unidade de tempo é maior que o consumo de energia atual de toda a humanidade no mesmo espaço de tempo.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva*. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 21
14. **Representação esquemática da influência da atmosfera (em percentagem) nos fenómenos de absorção e difusão da radiação solar e da quantidade absorvida e reflectida pela superfície terrestre.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 23
15. **Radiation path lengths through the atmosphere.** SZOKOLAY, Steven V. I*ntroduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 26
16. **Radiation path lengths through the atmosphere.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 26

17. **2D section of the earth's orbit (redesenho).** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 23
18. **Altitude and azimuth angles. (redesenho).** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 23
19. **Lococentric view of the sky hemisphere with sun-paths for the main dates. (redesenho).** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 23
20. **Stereographic projection method.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 24
21. **The shift of sun-path lines on the solar chart, with latitudes.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 25
22. **A variação das alturas solares origina, ao longo do ano, diferentes períodos de insolação e diferentes ângulos de incidência solar.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 28
23. **Solar Orientation in plant life.** OLGYAY, Victor. Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 53
24. **A precisão da orientação solar no interior do Panteão, em Roma.** Acedido em: 10, 08, 2020, em: https://www.askideas.com/25-beautiful-pantheon-rome-interior-pictures-and-photos/
25. **A flexibilidade da fachada sul. Arq. José Gigante. Projeto de reconversão de um sequeiro.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://divisare.com/projects/244118-Jose-Gigante-Granary-reconstruction
26. **A flexibilidade da fachada sul. Arq. José Gigante. Projeto de reconversão de um sequeiro.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://divisare.com/projects/244118-Jose-Gigante-Granary-reconstruction
27. **Aproveitamento da inércia térmica do pavimento. Perraudin Architecture. Projeto de habitação social, Cornebarrieu, França.** Acedido em: 5, 08, 2020, em: https://www.archdaily.com.br/br/755090/residencial-corruiras-boldarini-arquitetura-e-urbanismo?ad_medium=gallery
28. **Aproveitamento da inércia térmica das paredes. Perraudin Architecture. Projeto de habitação social, Cornebarrieu, França.** Acedido em: 5, 08, 2020, em: https://www.archdaily.com.br/br/755090/residencial-corruiras-boldarini-arquitetura-e-urbanismo?ad_medium=gallery
29. **A estufa no espaço doméstico. Arqs. Lacaton e Vassal. Cité manifeste, Habitação de interesse social em Mulhouse, França.** Acedido em: 5, 08, 2020, em: http://www.lacaton-vassal.com/index.php?idi=1531&idp=19
30. **A implantação da estratégia de utlização de paineis fotovoltaicos na reabilitação dos bairros sociais do Porto. Arq. Nuno Abrantes, Requalificação do bairro social Machado Vaz, Porto.** ABRANTES, Nuno. Arquitetura Social. Uzina Books, Lisboa, 2019.
31. **The global wind pattern.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 27
32. **The global wind pattern.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 27
33. **The Earth's heat balance: causes of the greenhouse effect.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom,2004. pág 27
34. **Classificação de climas.** SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 7
35. **Nota Histórica IV.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 71

36. **Casas-Pátio em Matmata, Tunísia - Vista exterior e vista do pátio.** Acedido em: 03, 08, 2020, em: https://darumanaturalbuilding.wordpress.com/2014/11/26/la-arquitectura-vernacular-de-las-casas-trogloditas-de-matmata/
37. **Casas-Pátio em Matmata, Tunísia - Vista exterior e vista do pátio.** Acedido em: 03, 08, 2020, em: https://darumanaturalbuilding.wordpress.com/2014/11/26/la-arquitectura-vernacular-de-las-casas-trogloditas-de-matmata/
38. **Malay House, Malásia - Esquemas e corte conceptual.** Acedido em: 03, 08, 2020, em: http://www.twotimestwentyfeet.com/wp-content/uploads/2017/09/MALAY-CONTAINER-HOUSES.pdf
39. **Malay House, Malásia - Esquemas e corte conceptual.** Acedido em: 03, 08, 2020, em: http://www.twotimestwentyfeet.com/wp-content/uploads/2017/09/MALAY-CONTAINER-HOUSES.pdf
40. **Malay House, Malásia - Vista exterior.** Acedido em: 03, 08, 2020, em: https://www.flickr.com/photos/les_butcher/2142378487
41. **Nota Histórica II.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 33
42. **Construção de um Igloo.** Acedido em: 03, 08, 2020, em: https://en.wikipedia.org/wiki/Igloo
43. **Vista exterior de um Igloo.** Acedido em: 03, 08, 2020, em: https://buyersask.com/unique-homes/igloo/
44. **Esquema Solar Hemicycle (Jacobs House II), arq. Frank Lloyd Wright.** Desenho de autoria do autor.
45. **Front Facade.** FUTAGAWA, Yukio. Frank Lloyd Wright Monograph 1942-1950. A.D.A. EDITA, Tokyo, 1988.
46. **Esquema do modelo de Megaron de Sócrates.** Acedido em: 04, 08, 2020, em: https://eficienciaenergtica.blogspot.com/2015/02/o-que-e-arquitetura-solar-2.html
47. **Nota Histórica I**. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 17
48. **Duas modernas torres de vidro e de betão!... -...na Islândia (70° lat. N.) -... em Portugal (40° lat. N.) - ou no Equador? (0° lat.)** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 15
49. **Classificação climática da Europa, segundo o sistema de Köppen-Geiger.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
50. **Classificação climática da Peninsula Ibérica segundo a classificação Köppen-Geiger.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: http://www.ipma.pt/resources.www/docs_pontuais/ocorrencias/2011/atlas_clima_iberico.pdf
51. **Classificação climática de Portugal segundo a classificação de Köppen-Geiger.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true
52. **Temperaturas máximas para cidade do Porto.** Acedido em: 16, 06, 2020, em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/
53. **Quantidade de precipitação na cidade do Porto.** Acedido em: 16, 06, 2020, em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/
54. **Céu nublado, sol e dias de precipitação na cidade do Porto.** Acedido em: 16, 06, 2020, em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/
55. **Gráfico composto de dados climáticos referentes à cidade do Porto.** Gráfico de autoria do autor.
56. **Gráfico composto de dados climáticos referentes à cidade do Porto.** Gráfico de autoria do autor.
57. **Tabela de dados climáticos referentes à cidade do Porto.** Tabela de autoria do autor.
58. **A localização ideal de um edifício ou aglomerado deve obedecer a um cuidado estudo das condições climáticas do local.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 36
59. **Os edifícios situados em zonas expostas e desprotegidas (B) ou em zonas húmidas de fraca exposição solar (C) só conseguem situações de conforto térmicos mediante despendiosos consumos de energia ou técnicas de construção.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 38

60. **Os edifícios situados em zonas expostas e desprotegidas (B) ou em zonas húmidas de fraca exposição solar (C) só conseguem situações de conforto térmicos mediante despendiosos consumos de energia ou técnicas de construção.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 38

61. **O movimento natural do ar sobre um edificio.** SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 48

62. **Wind effect: cross ventilation.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 16

63. **Stack effect in a room and in a chimney.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 16

64. **Desenhos da adaptação climática de um local de implantação menos favorável. Arq. Renzo Piano, Jean-Marie Tjibaou Cultural Center.** Acedido em: 07, 08, 2020, em: https://www.archdaily.com/600641/ad-classics-centre-culturel-jean-marie-tjibaou-renzo-piano

65. **Desenhos da adaptação climática de um local de implantação menos favorável. Arq. Renzo Piano, Jean-Marie Tjibaou Cultural Center** Acedido em: 07, 08, 2020, em: https://www.archdaily.com/600641/ad-classics-centre-culturel-jean-marie-tjibaou-renzo-piano

66. **Fotografia aproximada e afastada. Arq. Renzo Piano, Jean-Marie Tjibaou Cultural Center** Acedido em: 07, 08, 2020, em: https://www.archdaily.com/600641/ad-classics-centre-culturel-jean-marie-tjibaou-renzo-piano

67. **Fotografia aproximada e afastada. Arq. Renzo Piano, Jean-Marie Tjibaou Cultural Center.** Acedido em: 07, 08, 2020, em: https://www.archdaily.com/600641/ad-classics-centre-culturel-jean-marie-tjibaou-renzo-piano

3. CONTRIBUTO PARA UM MANUAL DE ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: PROJETO DE HABITAÇÃO BIOCLIMÁTICA NO PORTO

68. **Esboço da implantação do futuro bairro de habitação social na encosta do Monte da Bela. Perspetiva aérea e planta.** Acedido em: 05, 08, 2020, em: http://ruimoreira2017.pt/monte-da-bela-e-o-primeiro-projecto-destinado-habitacao-rendas-controladas-no-porto/

69. **Esboço da implantação do futuro bairro de habitação social na encosta do Monte da Bela. Perspetiva aérea e planta.** Acedido em: 05, 08, 2020, em: http://ruimoreira2017.pt/monte-da-bela-e-o-primeiro-projecto-destinado-habitacao-rendas-controladas-no-porto/

70. **Perfil esquemático da relação entre o terreno de implantação e o rio Douro.** Desenho de autoria do autor.

71. **Marcação, em planta, do perfil, com os respetivos espaçamentos.** Desenho de autoria do autor.

72. **Projeto. Planta de implantação. Esc. 1:2000.** Desenho de autoria do autor.

73. **A cércea de construção b deverá ser definida em função da altura solar de inverno (b = (n pisos x 3m)/ tang altura solar a 21 de dezembro).** MOITA, Francisco, (2010). Energia Solar Passiva. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal. Pág. 45

74. **Projeto. Planta de implantação dos primeiros três edifícios. Esc. 1:1000.** Desenho de autoria do autor.

75. **Projeto. Perfil poente dos primeiros três edifícios. Esc. 1:500.** Desenho de autoria do autor.

76. **Planta de implantação dos três primeiros edifícios / esquema do movimento do ar. Esc. 1:500.** Desenho de autoria do autor.

77. **Planta do projeto de reconversão de um sequeiro. Arq. José Gigante.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://divisare.com/projects/244118-Jose-Gigante-Granary-reconstruction

78. **Planta do projeto de reconversão de um sequeiro. Arq. José Gigante.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://divisare.com/projects/244118-Jose-Gigante-Granary-reconstruction

79. **Fachada sul do projeto de reconversão de um sequeiro. Arq. José Gigante.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://divisare.com/projects/244118-Jose-Gigante-Granary-reconstruction

80. **Fachada norte do projeto de reconversão de um sequeiro. Arq. José Gigante.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://divisare.com/projects/244118-Jose-Gigante-Granary-reconstruction
81. **Diferentes formas com o mesmo propósito. Arqs. Herzog & de Meuron, Rue des Suisses, Paris. Fotografia.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://paseandopalomeras.files.wordpress.com/2017/01/04_h_dm-suis.pdf
82. **Diferentes formas com o mesmo propósito. Arqs. Herzog & de Meuron, Rue des Suisses, Paris. Planta.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: https://paseandopalomeras.files.wordpress.com/2017/01/04_h_dm-suis.pdf
83. **Planta tipo do edifício de habitação social em Gemunde na Maia. Arq. João Álvaro Rocha.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: http://www.joaoalvarorocha.pt/pergemunde/pergemundept.html
84. **Fachada sul do edifício de habitação social em Gemunde na Maia. Arq. João Álvaro Rocha.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: http://www.joaoalvarorocha.pt/pergemunde/pergemundept.html
85. **Fachada norte do edifício de habitação social em Gemunde na Maia. Arq. João Álvaro Rocha.** Acedido em: 11, 08, 2020, em: http://www.joaoalvarorocha.pt/pergemunde/pergemundept.html
86. **Fotografia fachadas norte e sul. Arqs. José Gigante e João Álvaro Rocha, em Gondifelos, Maia.** Acedido em: 17, 08, 2020, em: https://www.portaldahabitacao.pt/pt/ihru/premios/historico_premios/premioinh/fichas/1997_INH_F01.html
87. **Planta de implantação. Arqs. José Gigante e João Álvaro Rocha, em Gondifelos, Maia.** Acedido em: 17, 08, 2020, em: https://www.portaldahabitacao.pt/pt/ihru/premios/historico_premios/premioinh/fichas/1997_INH_F01.html
88. **Planta de piso tipo. Arqs. José Gigante e João Álvaro Rocha, em Gondifelos, Maia.** Acedido em: 17, 08, 2020, em: https://www.portaldahabitacao.pt/pt/ihru/premios/historico_premios/premioinh/fichas/1997_INH_F01.html
89. **Planta de rés do chão dos três primeiros edifícios. Esc. 1:500.** Desenho de autoria do autor.
90. **Alçado Norte. Esc. 1:200.** Desenho de autoria do autor.
91. **Planta de Piso tipo. Esc. 1:200.** Desenho de autoria do autor.
92. **Alçado Sul. Esc. 1:200.** Desenho de autoria do autor.
93. **Plantas tipo / módulo. Esc. 1:100.** Desenho de autoria do autor.
94. **Planta T3 / Esquema de ventilação natural. Esc. 1:50.** Desenho de autoria do autor.
95. **Esquema conceptual das varandas do edifício de habitação em Lassaskog, Växjö, Arq. Ralph Erskine.** Acedido em: 17, 08, 2020, em: https://architectureofdoom.wordpress.com/tag/ralph-erskine/
96. **Fotografia das varandas do edifício de habitação em Lassaskog, Växjö, Arq. Ralph Erskine.** Acedido em: 17, 08, 2020, em: https://architectureofdoom.wordpress.com/tag/ralph-erskine/
97. **Corte Geral / Esquema de estratégias bioclimáticas. Esc. 1:50.** Desenho de autoria do autor.
98. **Corte pela fachada portante durante o período de inverno. Esc. 1:50.** Desenho de autoria do autor.
99. **Corte pela fachada portante durante o período de inverno. Esc. 1:50.** Desenho de autoria do autor.
100. **Corte pela fachada portante durante o período de verão. Esc. 1:50.** Desenho de autoria do autor.
101. **Fotografias da fachada sul. Arqs. Lacaton & Vassal em Bordéus, França.** Acedido em: 19, 08, 2020, em: https://aplust.net/blog/transformation_of_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_bordeaux_france/
102. **Fotografias do tratamento da envolvente exterior. Arqs. Lacaton & Vassal em Bordéus, França.** Acedido em: 19, 08, 2020, em: https://aplust.net/blog/transformation_of_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_bordeaux_france/
103. **Fotografia da fachada autoportante. Arqs. Lacaton & Vassal em Bordéus, França.** Acedido em: 19, 08, 2020, em: https://aplust.net/blog/transformation_of_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_bordeaux_france/

104. **Fotografia da fachada autoportante. Arqs. Lacaton & Vassal em Bordéus, França.** Acedido em: 19, 08, 2020, em: https://aplust.net/blog/transformation_of_cit_du_grand_parc_lacaton__vassal_druot_hutin_bordeaux_france/

105. **A aplicação no terreno de material isolante contribui para uma redução significativa das perdas energéticas do edifício pela estrutura.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 55

106. **Representação esquemática das linhas de temperatura (verão e inverno) em duas paredes de igual resistência térmica, sem e com isolamento. A utilização do material isolante permite a redução de espessuras desnecessárias.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 57

107. **O material isolante deve aplicar-se sempre do lado exterior da parede, a fim de se conseguirem menores amplitudes na parede, com menor deterioração do material e uma maior massa de acumulação térmica interior.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 57

108. **A caixa de ar não só não impede a formação de pontes térmicas, como reduz a massa de acumulação térmica interior, o que não se verifica com a aplicação de material isolante exterior (A) Em lajes de varandas também se consegue anular importantes pontes térmicas mediante a utilização de material isolante e apoio sobre consola (B).** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 58

109. **As coberturas, estando sujeitas a altas temperaturas nos dias de verão (quase 100°C) devem ser objeto de tratamento especial.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 58

110. **Exemplificação esquemática de alguns tipos de sombreadores e respetivos coeficientes de efeito (percentagem da radiação transmitida para o interior).** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 63

111. **A radiação captada com uma janela varia com a sua inclinação: o gráfico estabelece a quantidade de radiação solar difusa (em percentagem), segundo o ângulo de inclinação do vão envidraçado.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 62

112. **Os sombreadores podem, simultaneamente, exercer a função de isolamento térmico noturno.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 64

113. **Alguns exemplos de utilização de vedantes de fácil aplicação nas frinchas das portas.** MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 69

APÊNDICE

A. PSICROMETRIA

114. **Psicrómetro giratório.** SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 13
115. **Humidade Absoluta e Temperatura de bulbo seco.** HVAC Engineering (2020). Interactive Psychrometric Chart.
Acedido em: 18, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
116. **Humidade Relativa e Temperatura de bulbo molhado.** HVAC Engineering (2020). Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 18, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
117. **Processos Psicrométricos: Aquecimento e Arrefecimento.** HVAC Engineering (2020). Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 18, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
118. **Processos Psicrométricos: Arrefecimento.** HVAC Engineering (2020). Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 18, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
119. **Processos Psicrométricos: Humidificação.** HVAC Engineering (2020). Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 18, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
120. **Processos Psicrométricos: Desumidificação.** HVAC Engineering (2020). Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 18, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/

B. DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI

121. **Classificação das necessidades sobre o gráfico psicométrico.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
122. **Classificação por cor das necessidades sobre o gráfico psicométrico.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
123. **Zona de conforto.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
124. **Zona de ventilação diúrna e noturna.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
125. **Zona de arrefecimento por evaporação.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
126. **Zona de humidificação.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
127. **Zona de arrefecimento por inércia térmica.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
128. **Zona de aquecimento por inércia térmica.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
129. **Zona de aquecimento solar passivo.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
130. **Zona de arrefecimento artificial.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
131. **Zona de aquecimento artificial.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
132. **Zona do ponto de estado.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/
133. **Identificação da linha de estado do mês.** Interactive Psychrometric Chart. Acedido em: 27, 05, 2020, em: https://hvac-eng.com/interactive-psychrometric-chart/

C. CARTA SOLAR

134. **Representação da projeção estereográfica em relação à geometria solar.** Desenho de autoria do autor.
135. **Carta solar sem localização.** Acedido em: 23, 06, 2020, em: http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html
136. **Carta solar para a cidade do Porto.** Acedido em: 23, 06, 2020, em: http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html
137. **Carta solar com marcação de solstícios e equinócios para a cidade do Porto.** Acedido em: 23, 06, 2020, em: http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html
138. **Carta solar com separação entre manhã e tarde para a cidade do Porto.** Acedido em: 23, 06, 2020, em: http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html
139. **Identificação do azimute para o dia 7 de março, às 9h na cidade do Porto.** Acedido em: 23, 06, 2020, em: http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html
140. **Identificação da altura solar para o dia 7 de março, às 9h na cidade do Porto.** Acedido em: 23, 06, 2020, em: http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html
141. **Incidência solar a norte, na cidade do Porto.** Esquema de autoria do autor.
142. **Incidência solar a poente, na cidade do Porto.** Esquema de autoria do autor.
143. **Incidência solar a nascente, na cidade do Porto.** Esquema de autoria do autor.
144. **Incidência solar a sul, na cidade do Porto.** Esquema de autoria do autor.

D. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO KÖPPEN-GEIGER

145. **Classificação climática de Köppen-Geiger.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
146. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Af.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
147. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Am.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
148. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Aw/As.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
149. **Classificação climática de Köppen-Geiger - BWh/BWk.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
150. **Classificação climática de Köppen-Geiger - BSh/BSk.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
151. **Classificação climática de Köppen-Geiger.**Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
152. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Csa/Csb/Csc**. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
153. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Cwa/Cfa.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
154. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Cwb/Cwc/Cfb/Cfc.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
155. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Cfb/ Cwb - Climas de altitude.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
156. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Dfa/Dwa/Dsa.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
157. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Dfb/Dwb/Dsb.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
158. **Classificação climática de Köppen-Geiger - Dfc/Dwc/Dsc/Dfd/Dwd/Dsd.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger
159. **Classificação climática de Köppen-Geiger - ET/FT.** Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_climática_de_Köppen-Geiger

E. DIVISÃO CLIMÁTICA, RCCTE

160. **Classificação da estação de aquecimento de Portugal.** INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE.* Ineti, Lisboa, 2006. pág. 9
161. **Classificação da estação de arrefecimento de Portugal.** INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE.* Ineti, Lisboa, 2006. pág. 10

Notas

INTRODUÇÃO

1 OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág.1

1. SUSTENTABILIDADE EM ARQUITETURA: TEMAS E PROBLEMAS.

1 sustentabilidade. Acedido em: 14, 04, 2020, em: https://dicionario.priberam.org/sustentabilidade
2 sustentável. Acedido em: 14, 04, 2020, em: https://dicionario.priberam.org/sustentavel
3 Estado da atmosfera.
4 Série ininterrupta de instantes.
5 WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág.9
6 ibidem, pág. 12
7 ibidem, pág. 13
8 idem.
9 idem.
10 ibidem, pág. 14
11 ibidem, pág. 8
12 idem.
13 IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/
14 WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág 8
15 IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/
16 WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág 9
17 IPCC (2014). *Fifth Assassent Report: Climate Change 2014*. Acedido em: 6, 07, 2020, em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/
18 idem.
19 idem.
20 idem
21 idem.
22 idem.
23 idem.
24 idem.
25 ISEG (2016). *Estudo sobre a pobreza energética em Portugal*. Acedido em: 5, 08, 2020, em: https://www.edp.com/pt-pt/partilha-do-conhecimento/estudo-pobreza-energetica
26 idem.
27 idem.
28 idem.
29 idem.
30 idem.
31 idem.
32 BANHAM, Reyner. T*he architecture of the Well-tempered Environment.* University of Chicago. Chicago, 1969. pág. 18
33 idem.
34 OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág 3
35 idem.

36 idem.
37 idem.
38 idem.
39 idem.
40 BANHAM, Reyner. The architecture of the Well-tempered Environment. University of Chicago. Chicago, 1969. pág. 18
41 idem.

2. ARQUITETURA E CLIMA: ALGUMAS FERRAMENTAS DE PROJETO

1 SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 14
2 ibidem, pág. 13
3 SCHMID, Aloísio Leoni. *A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído.* Pacto Ambiental. Curitiba, 2005. pág. 9
4 ibidem, pág. 10
5 SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 16
6 ibidem, pág. 19
7 ibidem, pág. 16
8 ibidem, pág. 17
9 idem.
10 idem.
11 idem.
12 ibidem, pág. 18
13 idem.
14 idem.
15 idem.
16 ibidem, pág. 20
17 idem.
18 idem.
19 ibidem, pág. 21
20 idem.
21 idem.
22 ibidem, pág. 5
23 idem.
24 ibidem. pág 6
25 MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 20
26 idem.
27 idem.
28 MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 21
29 idem.
30 ibidem, pág. 20
31 ibidem, pág. 23
32 idem.
33 SZOKOLAY, Steven V. I*ntroduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 26
34 Para localizações próximas a grandes centros de emissão de GEE.
35 SZOKOLAY, Steven V. I*ntroduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 22
36 idem.

37 Sibidem, pág. 23
38 idem.
39 idem.
40 ibidem, pág. 24
41 ibidem, pág. 24-25
42 OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 53
43ibidem, pág. 55
44 ibidem, pág. 51
45 SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 7
46 idem.
47 ibidem, pág. 8
48 ibidem, pág. 10
49 ibidem, pág. 11
50 ibidem, pág. 22
51 idem.
52 Ver página 56
53 SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 26
54 ibidem, pág. 27
55 idem.
56 ibidem, pág. 28
57 ibidem, pág 33
58 ibidem, pág 34
59 SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág.7
60 idem.
61 idem.
62 ibidem, pág.8
63 MOITA, Francisco. Energia Solar Passiva. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 71
64 idem.
65 SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 8
66 idem.
67 ibidem, pág.9
68 idem.
69 ibidem, pág.8
70 MOITA, Francisco. Energia Solar Passiva. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 40
71 ibidem, pág. 33
72 idem.
73SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág. 9
74WASSOUF, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos.* 1ª edição, Gustavo Gili. Barcelona, 2019. pág. 7
75 MOITA, Francisco. Energia Solar Passiva. 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 17
76 ibidem, pág. 14
77 idem.
78 Ver página 70
79 ARNFIELD, A. John. *Köppen climate classification*. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major--climatic-types

80 Instituto de Meteorologia (2011). *Atlas Climático Ibérico.* Acedido em: 11, 06, 2020, em: http://www.ipma.pt/resources.www/docs_pontuais/ocorrencias/2011/atlas_clima_iberico.pdf
81 IPMA, *Normas Climatológicas*. Acedido em: 11, 06, 2020, em: https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/?print=true
82 idem.
83 SZOKOLAY, Steven V. Introduction to architectural science. The basis of sustainable design. Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 28
84 ibidem. pág. 29
85 idem.
86 ibidem, pág. 28
87 idem.
88 idem.
89 idem.
90 idem.
91 OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 44
92 ibidem, pág. 51
93 idem.
94 idem.
95 ibidem, pág.12
96 idem.
97 OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 44
98 idem.
99 SERRA, Rafael. *Arquitectura y Climas.* 1ª edição, Gustavo Gilli. Barcelona, 1999. pág.10
100 ibidem, pág. 11
101 idem.
102 SZOKOLAY, Steven V. Introduction to architectural science. *The basis of sustainable design. Architectural Press.* Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 14
103 idem.
104 idem.
105 idem.

3. CONTRIBUTO PARA UM MANUAL DE ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA: PROJETO DE HABITAÇÃO BIOCLIMÁTICA NO PORTO

1 OLGYAY, Victor. *Design with climate. Bioclimatic approach to architecture regionalism.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 1963. pág. 51
2 Por uma questão de gestão de tempo, optamos por não desenvolver o projeto para além da escala 1:50, pelo que os desenhos devem ser analisados segundo a escala indicada na legenda de cada imagem.
3MOITA, Francisco. Energia Solar *Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 45
4 PEZZI, Carlos Hernández. Un Vitruvio ecológico. Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. 7ª ed., Gustavo Gili. Barcelona, 2010. pág. 72
5 idem.
6 ibidem, pág. 73
7 MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 44
8 ibidem, pág. 54
9 idem.
10 ibidem, pág. 55

11 INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE.* Ineti, Lisboa, 2006. pág. 25
12 idem.
13 idem.
14 idem.
15 MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 55
16 ibidem, pág. 56
17 idem.
18 ibidem, pág. 58
19 ibidem, pág. 59
20 INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE.* Ineti, Lisboa, 2006. pág. 30
21 idem.
22 idem.
23 idem.
24 MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* 2ª edição, Argumentum. Lisboa, Portugal, 2010. pág. 59
25 ibidem, pág. 60
26 ibidem, pág. 61
27 ibidem, pág. 63
28 idem.
29 idem.
30 ibidem, pág. 62
31 idem.
32 ibidem, pág. 64
33 idem.
34 ibidem, pág. 65
35 ibidem, pág. 67

APÊNDICE

A. PSICROMETRIA

1 SZOKOLAY, Steven V. *Introduction to architectural science. The basis of sustainable design.* Architectural Press. Oxford, United Kingdom, 2004. pág. 12
2 ibidem, pág. 13
3 idem.
4 ibidem, pág. 12
5 ibidem, pág. 13
6 ibidem, pág. 14
7 idem.
8 idem.
9 idem.

B. DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI

1 GIVONI, Baruch (1992). Confort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. 18: 11-23
2 idem.
3 idem.
4 idem.
5 idem.
6 idem.
7 idem.

8 idem.
9 idem.
10 idem.

C. CARTA SOLAR

1 BITTENCOURT, Leonardo. Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos. 4ªed, edUFAL. Maceió, Brasil, 2004. pág. 27
2 ibidem, pág. 30-33
3 ibidem, pág. 39-40
4Ter em atenção que este método não representa as estações do ano de forma precisa, dá apenas uma ideia geral.

D. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO KÖPPEN-GEIGER

1 ARNFIELD, A. John. Köppen climate classification. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major-climatic-types
2 idem.
3 idem.
4 idem.
5 idem.
6idem.
7 NWS, Addition Köppen-Geiger climate subdivisions. Acedido em: 9, 06, 2020, em: https://www.weather.gov/jetstream/climate_max
8 ARNFIELD, A. John. Köppen climate classification. Acedido em: 8, 06, 2020, em: https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major-climatic-types
9 idem.

E. DIVISÃO CLIMÁTICA RCCTE

1 INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE.* Ineti, Lisboa, 2006. pág. 9
2 idem.
3 O valor GD (graus dias) é um método de cálculo estático utilizado para a determinação das necessidades térmicas de aquecimento. Este representa o somatório das diferenças positivas entre Ti (temperatura interior de projecto) e Ta (temperatura do ambiente exterior) média ao longo do período de aquecimento.
4 INETI. *Manual de apoio à aplicação do RCCTE.* Ineti, Lisboa, 2006. pág. 9
5 ibidem, pág. 10
6 idem.
7 ibidem, pág. 12-17
8 ibidem, pág. 11
9 ibidem, pág. 15
10 ibidem, pág. 17
11 ibidem, pág. 17-18
12 ibidem, pág. 18