



Universidade do Minho
Escola de Arquitetura, Arte e Design

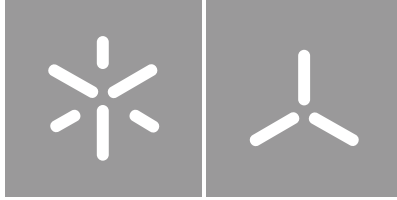
Ivo Rodrigues Filipe

Para uma Arquitetura Bioclimática

Ivo Rodrigues Filipe **Para uma Arquitetura Bioclimática**

UMinho | 2022

junho de 2022



Universidade do Minho

Escola de Arquitetura, Arte e Design

Ivo Rodrigues Filipe

Para uma Arquitetura Bioclimática

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Arquitetura
Área de Cidade e Território

Trabalho efetuado sob a orientação da

**Professora Doutora Rute Alexandra Santos
da Silva Carlos**

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença [abaixo](#) indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Agradecimentos,

Um grande obrigado à Professora Rute, por toda a dedicação e entusiasmo pelo trabalho e pela vasta sabedoria que me transmitiu, sobre esta arte que chamamos de arquitetura;

À minha mãe, irmã, avó e pai, pelo apoio incondicional neste percurso;

À Marta, por estar sempre presente, pelo apoio e carinho;

A todos os meus amigos.

Muito obrigado.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho

Resumo

O âmbito deste trabalho é estudar e realçar a relação do clima com a arquitetura. Para isto, dividiu-se o trabalho em quatro capítulos principais. O primeiro capítulo aborda o sistema solar, os diferentes climas e a influência, destes, nas arquiteturas vernaculares. O segundo capítulo parte do início do século XX e estuda a importância do clima nas obras de Frank Lloyd Wright e Le Corbusier, destacando como as mesmas ambicionavam interagir com o clima, para atingir o conforto atmosférico interior. O terceiro capítulo demonstra o impacto dos sistemas mecânicos de climatização, na arquitetura, e explora esta nova era. Por fim, o quarto capítulo aborda o trabalho de três arquitetos contemporâneos, que tem por base de projeto, a interação com o clima. Assim, o conjunto destes capítulos, demonstram os dois lados da interação entre a arquitetura e o clima, a partir do desenho ou a partir dos mecanismos. Com isto, fomenta-se o entendimento dos princípios bioclimáticos integrados no desenho do próprio objeto arquitetônico e manifesta-se este desenho em prol de uma *arquitetura bioclimática*.

Abstract

The scope of this work is to study and highlight the relationship between climate and architecture.

For this purpose, the work will be divided into four main chapters. The first chapter refers to the solar system, the different climates and their influence on vernacular architectures. The second chapter starts from the beginning of the 20th century and studies the importance of climate in the works of Frank Lloyd Wright and Le Corbusier, highlighting how they aspired to interact with the climate, in order to achieve interior atmospheric comfort. The third chapter demonstrates the impact of mechanical HVAC systems on architecture and explores this new era. Finally, the fourth chapter addresses the work of three contemporary architects, whose design is based on the interaction with climate.

Thus, the set of these chapters, demonstrate the two sides of the interaction between architecture and climate, from the design or from the mechanisms. With this, the understanding of the bioclimatic principles integrated in the design of the architectural object itself is promoted and this design is manifested in form of a bioclimatic architecture.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	10
1_SISTEMA SOLAR, CLIMA E ARQUITETURA	13
Sistema Solar: Descobertas e geometria	17
Classificação climática mundial: <i>Koppen-Geiger</i>	22
Construções vernaculares e a relação com o clima: <i>Turfe Malay House</i>	24
2_ARQUITETURA CLIMÁTICA PRÉ-AVAC: FRANK LLOYD WRIGHT E LE CORBUSIER	30
A sensibilidade bioclimática de Frank Lloyd Wright, da <i>Robie</i> à <i>Gilllin House</i> : <i>cool air tank</i> , ventilação, brisas e sol	32
Le Corbusier e o dilema entre o passivo e o ativo: <i>mur-neutralisant</i> , <i>serre-chaude</i> , <i>respiration exacte</i> , <i>solarium</i> , <i>courant d'air</i> , <i>parasol</i> e <i>brise-soleil</i>	55
A arquitetura bioclimática de Le Corbusier na Índia: <i>brise-soleil</i> , <i>bassins d'eau</i> , <i>toit-bassin</i> e <i>ventilation</i>	92
3_AVAC: A CLIMATIZAÇÃO MECÂNICA DE ESPAÇOS INTERIORES	111
Experiências de climatização e implementação na arquitetura	115
Contexto contemporâneo: o rigoroso projeto de climatização	128
4_PÓS-AVAC: TRÊS REFERÊNCIAS BIOCLIMÁTICAS	129
Princípios Bioclimáticos: Sol, Arrefecimento e Aquecimento	131
Diébédo Francis Kéré: ventilação e sombreamento	135
Lacaton & Vassal: técnica de estufa	146
Philippe Rahm: ciência climática como elemento arquitetônico	157
CONCLUSÃO	166
BIBLIOGRAFIA	170
CRÉDITOS DE IMAGENS	177

INTRODUÇÃO

O trabalho de final de mestrado, a seguir apresentado, desenrola-se a partir da curiosidade sobre o papel do clima na arquitetura, que surgiu nos anos finais do percurso acadêmico. A investigação, lançada pela curiosidade, pretende demonstrar a intensa relação entre o clima e a arquitetura. Assim, parte-se para uma dissertação sobre a relação entre os dois.

Desta maneira, este trabalho inicia-se com um dos alicerces do clima, o sistema solar. Começa-se por dissertar sobre a geometria e os princípios do sistema solar, por serem estes aspetos os que mais influenciam a variação climática globalmente. Através da observação das diferenças de construção arquitetónica globalmente, torna-se claro o papel do sol e da variação térmica local. Em diferentes pontos geográficos denotam-se diferentes resultados arquitetónicos. Desta forma, introduz-se duas tipologias vernaculares, de climas contrastantes e com exigências extremas distintas, a Turf house, na Islândia, e a Malay house, na Malásia.

Num contexto arquitetónico mais aprofundado, o segundo capítulo analisa e destaca a interação das obras de Frank Lloyd Wright com o clima. De seguida, transita-se para o arquiteto Le Corbusier, onde se explora as diferentes técnicas de interação da arquitetura com o clima, desde os meios mecânicos até aos meios naturais.

O capítulo terceiro, relaciona a arquitetura com os sistemas mecânicos. Analisando a implementação destes mecanismos e a evolução desta nova relação com a arquitetura. Inclui as primeiras experiências de climatização, passando pela domesticação do ar-condicionado e terminando com um exemplo onde, a máquina, se torna o destaque do objeto arquitetónico.

Por fim, o último capítulo analisa a arquitetura de base climática, contemporânea. Começa-se por categorizar os princípios bioclimáticos e termina-se, este capítulo, com a dissertação de obras de três arquitetos com âmbitos climáticos distintos. Para o âmbito do arrefecimento destaca-se o trabalho de Francis Kéré. Para o âmbito do aquecimento, destacam-se as obras dos arquitetos Lacaton&Vassal. Conclui-se, este capítulo, com o estudo das obras de Philippe Rahm, que traz uma perspetiva inovadora para a arquitetura.

Assim sendo, esta análise cronológica, que destaca a importância do clima na arquitetura, demonstra a importância deste fator no âmbito de viver e na qualidade dos projetos. O trabalho propõe a exposição de técnicas vantajosas de manipulação climática, que beneficiam a experiência de habitar e a qualidade emocional da arquitetura. Também questiona o provável esquecimento deste fator nas obras da atualidade.

1_SISTEMA SOLAR, CLIMA E ARQUITETURA

Antes de iniciar a discussão do contexto arquitetônico, é necessário entender o funcionamento do nosso sistema solar, por vários motivos. Primeiramente, entender o percurso do sol, em diferentes longitudes e em diferentes estações do ano. É fundamental para a interpretação do trabalho e também para a conceção de qualquer arquitetura. Em segundo, o percurso e as rotinas solares também ajudam a definir os diferentes climas. Entender as características, que definem os diferentes climas, também é essencial para moldar espaços que cumpram as necessidades climáticas específicas.

Desta maneira, neste capítulo, irá ser abordada as rotinas solares e os diferentes climas, bem como, todo o contexto histórico destas mesmas descobertas. De seguida, vai ser apresentado a mapa mundial climático mais comum, o *Koppen-Geiger*, com fim de entender as variações climáticas pelo mundo. Por fim, para traduzir o impacto do clima na arquitetura, vão ser comparadas duas tipologias vernaculares de climas opostos: a Turf House, na Islândia e a Malay House, na Malásia.

Sistema Solar: Descobertas e geometria

Até à época do renascimento, o conhecimento geral sobre o sistema solar não era unânime. Acreditava-se que a terra seria de maior dimensão do que o sol e que o sol girava pelo eixo do nosso planeta. *Nicolas Copernicus*, um filósofo original de terras onde hoje se situa o território polaco, afirmava que o sol estava no centro do universo, no entanto, este modelo não correspondia aquele aceite pela sociedade. Esta vaga de ideias, que surgiram no século XV e XVI, também surgiram na época da Grécia clássica. No ano de 270 a.e.c., o filósofo *Aristarchus*, foi o primeiro a propor um modelo heliocêntrico, onde o sol estava no centro. ¹

Por volta de 1609, *Galileo Galilei* conseguiu chegar a conclusão de que o sol estava no centro do nosso sistema solar. *Galileo*, a partir de um telescópio da sua autoria, observou, desenhou e estudou vários planetas. Desta maneira, provou que existiam movimentos heliocêntricos a partir do Sol, contudo, a igreja católica não aceitou as suas teorias. ^{2,3}

Para completar e consolidar estas teorias, por volta de 1642 e 1727, *Isaac Newton*, apresentou a teoria da gravidade. Afirmava, que um objeto em movimento não parava até que uma outra força, de resistência, entrasse em ação e que um objeto pode criar a sua própria órbita. ⁴

Com isto, é necessário entender a relação, entre a rotação da Terra, e as estações do ano e clima. Uma volta completa da Terra, no eixo do sol, equivale à medida temporal de um ano, que inclui quatro estações. No que toca as rotações, que a terra faz à volta do seu próprio eixo, é equivalente à medida temporal de 24 horas.

¹ MARK, Joshua J. - Aristarchus of Samos. In **World History Encyclopedia**. Disponível em WWW: <URL: https://www.worldhistory.org/Aristarchus_of_Samos>.

² VAN HELDEN, Albert - Galileo | Biography, Discoveries, Inventions, & Facts. In **Encyclopedia Britannica**. Disponível em WWW: <URL: <https://www.britannica.com/biography/Galileo-Galilei>>.

³ LEWIS, Elspeth - **How Galileo's telescope changed our view of the Solar System forever - The National Space Centre**. Disponível em WWW: <URL: <https://spacecentre.co.uk/blog-post/galileos-telescope-changed-our-view-of-the-solar-system/>>.

⁴ WESTFALL, Richard S. - Isaac Newton | Biography, Facts, Discoveries, Laws, & Inventions. In **Encyclopedia Britannica**. Disponível em WWW: <URL: <https://www.britannica.com/biography/Isaac-Newton>>.



Figura 1 – Desenhos aquarela de Galileo Galilei, durante a sua observação à lua. Outono 1609.

A geometria do sistema solar define as estações do ano e os climas. A inclinação do eixo da Terra são 23°, como é perceptível pela figura 2. Este ângulo proporciona maior incidência solar num hemisfério. Contudo, com a rotação do planeta Terra pelo eixo do Sol, esta incidência solar alterna-se, dando lugar às estações do ano, que são opostas no hemisfério Norte e Sul, no mesmo período temporal.

A longitude também é o critério para a variação de climas. Neste contexto, também existem outros fatores não interligados com o sistema solar e mais complexos do que o espectro científico deste trabalho. Consoante uma maior longitude, menor incidência solar existirá e, conseqüentemente, as temperaturas serão inferiores.⁵

Esta ciência, sobre o sistema solar e o clima, que foi bastante resumida, é essencial para o momento da criação do projeto. Nos próximos capítulos vai se tornar evidente a interação inerente entre a arquitetura e o clima.

Na Europa, a Grécia antiga foi das primeiras civilizações a decretar a importância do clima para os edifícios. O filósofo *Aeschylus*, afirmava que apenas os povos bárbaros e primitivos não continham conhecimento suficiente para orientar as suas casas a sul, a fim de aproveitar o sol de inverno. Conhecimentos básicos, como estes, prevaleceram até aos povos romanos. Várias das termas, construídas sobre o império romano, eram orientadas a sul. Porém, com o cair destas civilizações e o início da idade média, muito deste conhecimento, arcaico, sobre o sistema solar, não foi posto em prática.

⁵ BUIS, Alan - **Milankovitch (Orbital) Cycles and Their Role in Earth's Climate – Climate Change: Vital Signs of the Planet**. Disponível em WWW: <URL:<https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>>.

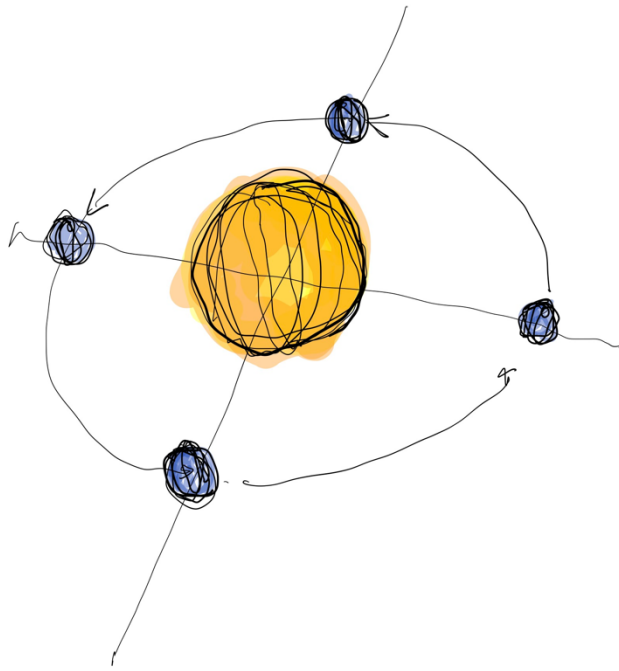


Figura 2 – Relação da Terra com o Sol

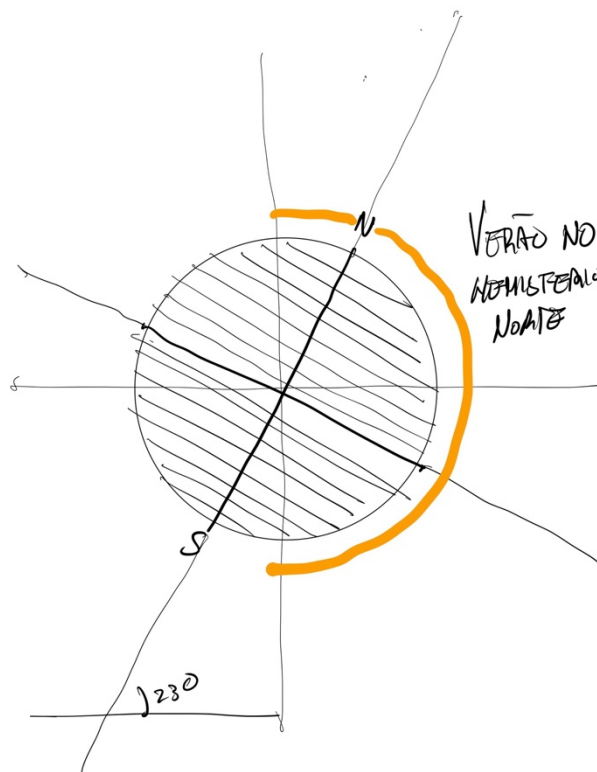


Figura 3 - Inclinação da Terra

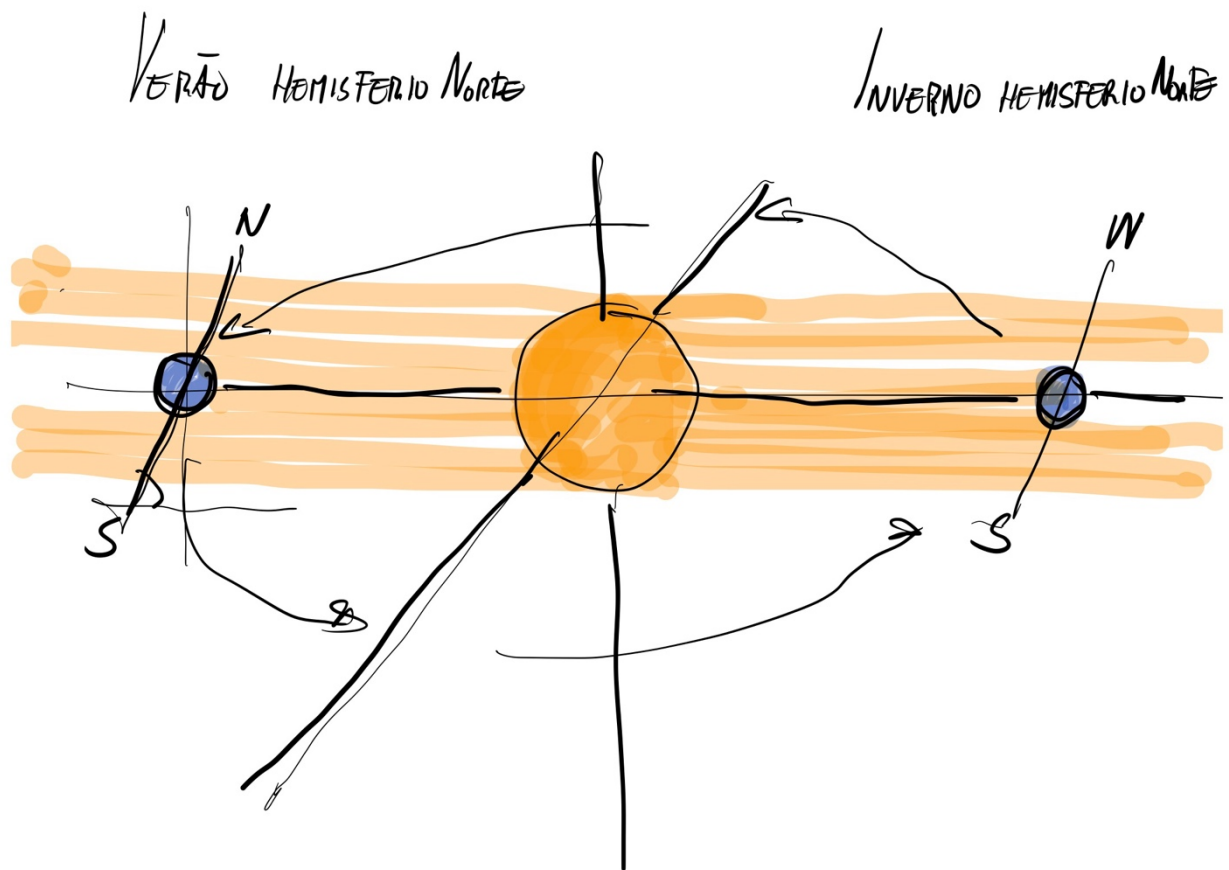


Figura 4 - Estações do ano

Classificação climática mundial: *Koppen-Geiger*

A classificação dos climas também é essencial para generalizar as necessidades para cada parte do globo, porque, como foi dito anteriormente, não é apenas a longitude que influencia a definição do clima.

A classificação climática mais universal é a *Koppen-Geiger*. A primeira versão ficou disponível em 1900, original de Wladimir Köppen, contudo, sofreu alterações do autor até 1940. O autor entendeu que a vegetação estava diretamente relacionada com o clima, conseqüentemente, utilizou isto para fazer a classificação dos climas.⁶

Existiam cinco classificações que estavam interligadas com a vegetação. A zona equatorial (A), a zona árida (B), a zona temperada quente (C), a zona de neve (D) e a zona polar (E). Existem também mais duas subcategorias, referentes à precipitação e temperatura.⁷ Rudolf Geiger, alguns anos mais tarde, em 1954 e 1961, introduziu algumas alterações. Por isto, o mapa atual partilha a autoria com Geiger.⁸

Mais recentemente, em 2006, o mapa foi atualizado, com dados do Climatic Research Unit, da Universidade de Ânglia do Este e da Global Precipitation Climatology Centre da German Weather Service.⁹ Com isto, apresenta-se, na figura 2, o mapa disponível no website World Maps of Köppen-Geiger Climate Classification. Esta classificação consegue-nos providenciar uma perspectiva global sobre o clima. O próximo passo é relacionar as exigências destes climas distintos, com a arquitetura.

Contudo, o essencial é servir como uma ferramenta para entender as várias arquiteturas pelo mundo e, se necessário, ter a polivalência para saber construir em climas distintos. O clima é verdadeiramente importante na hora de concepção do objeto arquitetônico.

⁶ **WORLD MAP OF THE KÖPPEN-GEIGER CLIMATE CLASSIFICATION UPDATED.** Disponível em WWW:
<URL:<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>>.

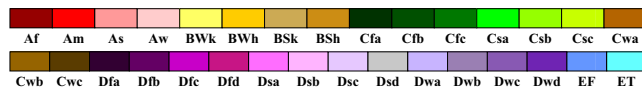
⁷ Ibidem

⁸ Ibidem

⁹ Ibidem

World Map of Köppen–Geiger Climate Classification

updated with CRU TS 2.1 temperature and VASCLimO v1.1 precipitation data 1951 to 2000



Main climates

A: equatorial
 B: arid
 C: warm temperate
 D: snow
 E: polar

Precipitation

W: desert
 S: steppe
 f: fully humid
 s: summer dry
 w: winter dry
 m: monsoonal

Temperature

h: hot arid
 k: cold arid
 a: hot summer
 b: warm summer
 c: cool summer
 d: extremely continental
 F: polar frost
 T: polar tundra

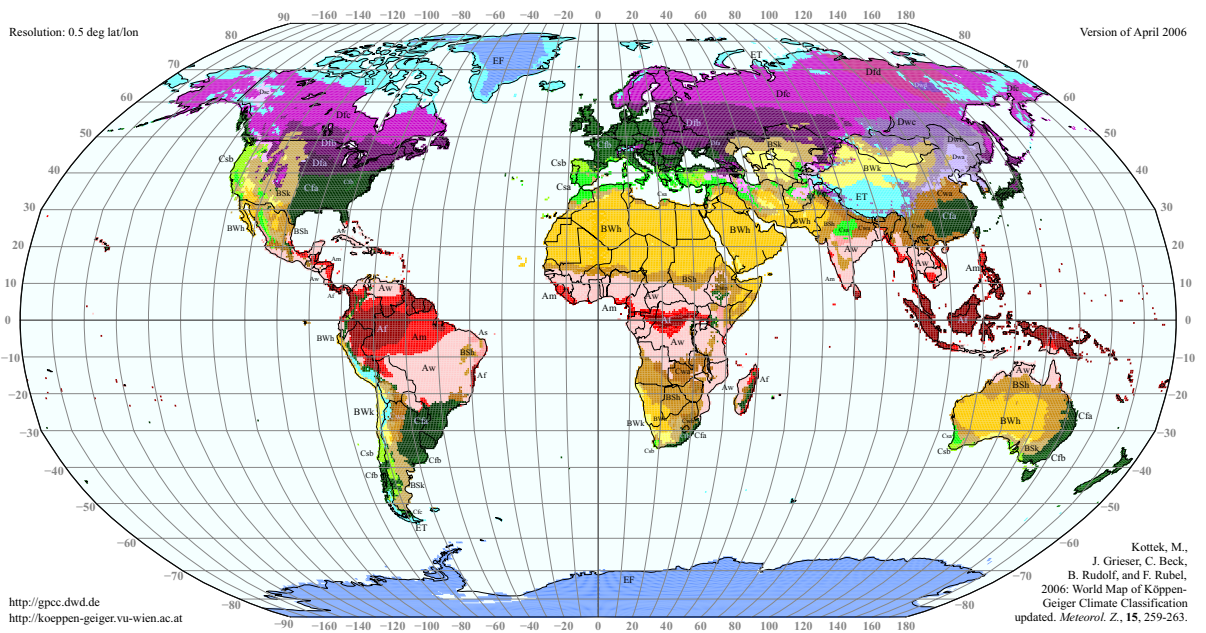


Figura 5 - Mapa mundial climático Köppen-Geiger, versão atualizada de 2006.

Construções vernaculares e a relação com o clima: *Turf e Malay House*

As descobertas apresentadas no subcapítulo anterior, não foram necessárias para entender o clima. Existem construções, que não são acompanhadas de conhecimento científico, contudo, conseguem excelentes desempenhos térmicos, tendo em conta a tecnologia disponível para essa altura. Para estes povos, o clima entendeu-se através da experiência, com várias tentativas, com ou sem sucesso. O artigo de Dezembro de 1960, de James Marston Fitch, é relevante para este tópico. Intitulado de *Primitive Architecture and Climate*, este esclarece o quão eficientes eram as construções primitivas, em comparação com aquelas da época.

“The Eskimo has only snow and ice; the Sudanese, mud and reeds; the Siberian herdsman, animal hides and felted hair; the Melanesian, palm leaves and bamboo. Yet primitive architecture reveals a very high level of performance, even when judged in the light of modern technology. It reflects a precise and detailed knowledge of local climate conditions on the one hand, and on the other a remarkable understanding of the performance characteristics of the building material locally available.”¹⁰

Com o objetivo de conseguir a temperatura mais confortável no interior, com os materiais e técnicas disponíveis, estes povos criaram construções eficientes, com a estética derivada da eficiência. No limite, o resultado deste objeto arquitetónico derivava de razões climáticas. Portanto, a relação entre o homem e o clima esteve sempre presente, por razões de sobrevivência.

Apenas analisando as diferentes arquiteturas vernaculares, é fácil entender o clima onde se inserem. Estas influências também se alastram até à área urbanística. Porém, este trabalho apenas se concentra no objeto arquitetónico e a sua interação com o clima.

¹⁰ FITCH, James Marston ; BRANCH, Daniel P. - Primitive Architecture and Climate. **Scientific American**. Disponível em WWW: <URL:<http://www.istor.org/stable/24940726>>.

O mapa de classificação mundial climática *Köppen-Geiger*, introduzido no capítulo anterior, pode ser articulado com esta análise. Através do mesmo, consegue-se perceber a influência dos climas nas diferentes construções vernaculares. É certo que, os costumes ou culturas também variam consoante os países, contudo, também é válido argumentar a influência do clima neste ramo. Desta maneira, serão comparadas duas construções vernaculares em lugares com longitudes distintas, uma localiza-se na Islândia e outra na Malásia.

A Islândia, descoberta por volta de 800 e.c., foi povoada pelos povos Vikings, portanto, é interessante entender os primeiros traços de arquitetura, neste país.¹¹ A *Turf House* é a tipologia, mais comum, de construção vernacular na Islândia. A técnica construtiva assenta no uso de terra, devido à escassez de outros elementos na região. Com isto, o desenho, aliado aos materiais disponíveis, tentou projetar uma casa eficiente e confortável.¹²

Para se protegerem das baixas temperaturas, estes povos entenderam fazer a cobertura com terra. Desta maneira, rapidamente entenderam as qualidades térmicas deste elemento. No verão, as temperaturas interiores também eram estáveis, mais uma vez, graças à sua cobertura.

¹¹ KARLSSON, Gunnar - Iceland | History, Maps, Flag, Population, Climate, & Facts. In **Encyclopedia Britannica**. Disponível em WWW: <URL:<https://www.britannica.com/place/Iceland>>.

¹² ARLIEN-SØBORG, Otto [et al.] - **Glaumbær Farm/Iceland - Aarhus School of Architecture**. Disponível em WWW: <URL:<https://aarch.dk/en/basp-studentwork-iceland/>>.



Figura 6 - Keldur Turf House, Islândia

Na Malásia, num clima oposto e extremo, as escolhas dos materiais e o seu desenho também revela grandes preocupações climáticas. Mais uma vez, as matérias-primas disponíveis influenciam a arquitetura. Desta vez, a arquitetura tem de completar outras necessidades para estabelecer um interior confortável. Neste clima tropical, é necessária uma grande quantidade de ventilação, proteção solar e, ao mesmo tempo, proteção para as chuvas intensas.

A primeira característica é a elevada cota do solo, suportada por pilares, em madeira. A típica *Malay House*, eleva-se do chão para conseguir mais ventilação, tendo em conta a altura da vegetação e, também, para se proteger das cheias, devido aos períodos curtos de chuvas intensas.¹³

Para prevenir o aquecimento destas construções, as soluções são bastante simples. A parede, de madeira, tem pouca espessura, para não conservar uma grande quantidade de energia, o que consegue manter as temperaturas baixas. As coberturas, feitas de materiais locais, restos das árvores, são pouco espessas o que, mais uma vez, previne a acumulação de calor. As coberturas estendem-se para além da parede, desta maneira, é possível conseguir uma maior proteção dos raios solares para o interior. A vegetação também se torna útil, para a proteção dos raios solares.¹⁴

No que toca à ventilação passiva, estas construções também apresentam soluções bastante interessantes. Na intersecção de coberturas, existem várias saídas, de onde circula o ar mais quente para o exterior, o que mantém o interior livre das altas temperaturas.¹⁵

Com esta comparação entre estas duas arquiteturas, é notável o impacto do clima nas construções vernaculares.

¹³ KAMAL, Kamarul; WAHAB, Lilawati; AHMAD, Asmalia – Climatic design of the traditional Malay house to meet the requirements of modern living p.175

¹⁴ Ibidem p.176

¹⁵ Ibidem p.177

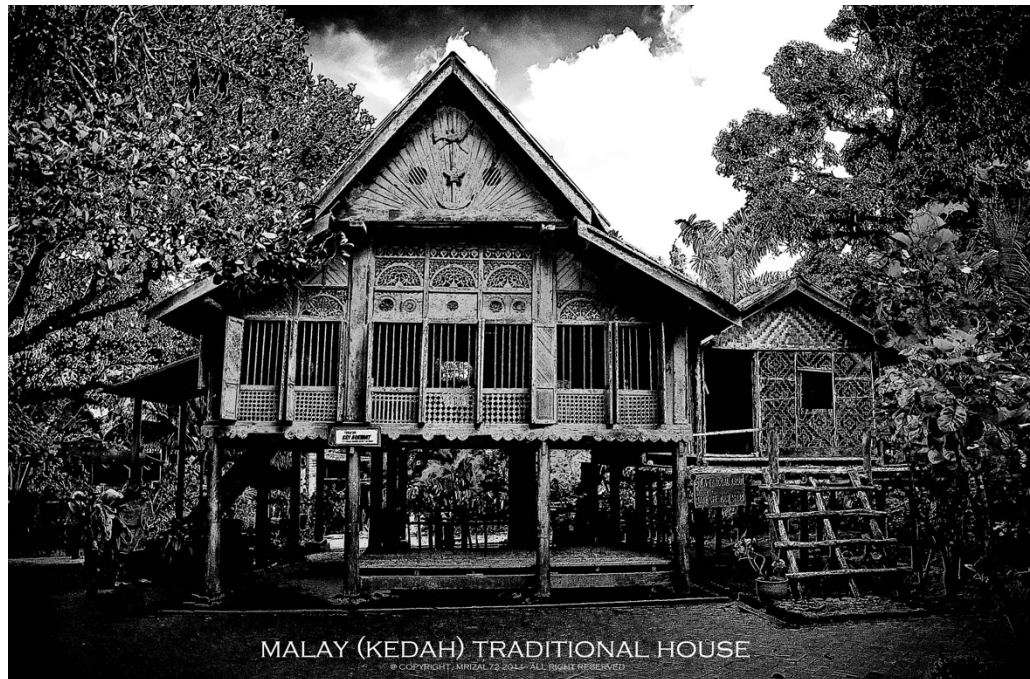


Figura 7 - Malay Kedah House, Malásia

2_ARQUITETURA CLIMÁTICA PRÉ-AVAC: FRANK LLOYD WRIGHT E LE CORBUSIER

A relação entre o clima e a arquitetura é recorrente. Desde a construção de um simples abrigo, em tempos primitivos, onde a condicionante climática era uma das mais importantes. Com o desenvolvimento dos povos e a evolução mundial, por vezes, a preocupação climática ficou em segundo plano. No entanto, existiram épocas, ou movimentos arquitetónicos, que assumiam o clima como condicionante fundamental.

A época moderna foi uma delas. Esta considerou-o como uma condicionante principal ao relacioná-lo com a arquitetura. O modernismo propunha uma nova relação entre o habitante e o clima. Este novo pensamento desenvolveu novas técnicas e desenhos, assim como existiu uma maior ambição, por parte dos arquitetos, para controlar a climatização e melhorar o conforto interior.

No início do século XX, alguns arquitetos começam por mostrar grande engenho ao interagir com o clima. Esta criatividade revê-se em desenhos e técnicas, com ou sem, ajuda de meios mecânicos.

Desta maneira, começa-se por explorar a sensibilidade ao clima de Frank Lloyd Wright, é de destacar as suas técnicas de ventilação e exposição. De seguida, estuda-se as duas fases de interpretação do clima por parte de Le Corbusier. A primeira, que contrasta os mecanismos com os meios passivos, é também nesta parte que se faz a primeira aproximação ao brise-soleil. Por fim, na segunda, estuda-se o trajeto do arquiteto pela Índia, a verdadeira arquitetura bioclimática.

A sensibilidade bioclimática de Frank Lloyd Wright, da *Robie* à *Gillin House: cool air tank*, ventilação, brisas e sol

Numa época prévia ao movimento internacional moderno, Frank Lloyd Wright, com o seu portefólio de obras inovador, destaca-se no mundo da arquitetura. As suas obras são de tal maneira desafiadoras para o estilo da época, que a sua influência vai desde o Estados Unidos até a Europa e ganha um grande número de seguidores. De acordo com Neil Levine, a chegada do modernismo, dá início à discussão da inclusão do arquiteto no estilo internacional.¹⁶ Os pioneiros do movimento internacional não acharam que Frank Lloyd Wright preenche-se os critérios para ser reconhecido como modernista, o que causou bastante polémica. Porém, a inclusão do arquiteto nesta dissertação passa pela qualidade bioclimática dos seus trabalhos, mesmo que estes não sejam reconhecidos como parte do movimento internacional moderno.

Frank Lloyd Wright é natural de Wisconsin, onde o seu tio, James, era o Oproprietário de uma quinta e lhe oferecia trabalho no verão. Isto fez com que Wright, desde novo, tivesse uma relação forte com a envolvente natural. Esta proximidade com os elementos naturais fez com que Wright entenda-se as suas características.¹⁷ Como nos explica Alan Hess, no livro *Frank Lloyd Wright - Natural Design - Organic Architecture:*

“Frank Lloyd Wright knew the cool touch of a shaded limestone ledge in hot Wisconsin summers, and the radiant warmth of brick warmed by a fireplace in the winters. He knew the perceptible difference between standing in the full sun and in the cool shade beneath a wide roof eave - and how the light of the winter sun, low on the horizon, could penetrate deep into a house.”¹⁸

¹⁶ LEVINE, Neil – **Abstraction and Representation in Modern Architecture: The International Style of Frank Lloyd Wright**

¹⁷ HESS, Alan ; WEINTRAUB, Alan - **Frank Lloyd Wright Natural Design Organic Architecture**. p.13

¹⁸ Ibidem p.25

As novas tecnologias não ficavam excluídas das suas obras, o arquiteto utilizava aquecimento por radiadores, iluminação artificial, vidros duplos e até ar condicionado em algumas das suas obras mais tardias. No entanto, nunca se esqueceu da importância que o clima e a atmosfera tinham para os seus espaços.¹⁹ No limite, o arquiteto utilizava os meios mecânicos para funcionar em conjunto com os princípios naturais.

Wright interpretava de uma maneira muito própria a entrada destas tecnologias na arquitetura. O arquiteto não utilizava estas tecnologias apenas como uma adição ao projeto, mais sim, projetava o projeto em harmonia com as mesmas. Fazia com que as tecnologias fizessem parte do projeto. Como Alan Hess cita Reyner Banham no seu livro:

As Reyner Banham observed, Wright offered "the kind of rationally holistic vision of building shell, technical equipment, topographical and climate conditions."²⁰

Na *Jacobs House II*, o arquiteto propõe um piso radiante em todo o rés-de-chão, em harmonia com as restantes técnicas bioclimáticas. Na *Robie House*, uma das suas obras mais famosas, o arquiteto prevê a instalação de radiadores camuflados por painéis em madeira, debaixo dos vãos das janelas, em ambos os lados da casa, ao mesmo tempo, propõe um complexo funcionamento de ventilação passiva. Wright explorava maneiras de como estas tecnologias poderiam ser o mais eficientes possível. Na *Baker House*, obra que data de 1908, o arquiteto, projetou os radiadores para estar debaixo de um grande vão para poder aquecer todo o ar que viesse desta ponte térmica.²¹

Ao explorar o conjunto de obras do arquiteto, vários dos desenhos, denunciam a vontade de interagir com o clima, de uma maneira bioclimática ou mecânica. Wright, tinha a sensibilidade para desenhar um objeto arquitetónico que interagisse com os elementos invisíveis, com a atmosfera e o clima. Entendia que os elementos como o sol, o ar e a água poderiam ter impactos positivos no conforto, se fossem manipulados na maneira certa. É o objetivo deste capítulo mostrar, através de algumas obras, as técnicas bioclimáticas que o arquiteto usava.

¹⁹ Ibidem, p.15

²⁰ Ibidem, p.9

²¹ BANHAM, Reyner - Frank Lloyd Wright as Environmentalist. **Arts & Architecture**. pp. 27-30.

Robie House: cool air tank, ventilação e sombreamento

Em 1906, surge o projeto da *Robie House*, em Chicago, para um jovem cliente. Esta, faz parte da coleção de obras do estilo *Prairie*, estilo que surgiu em Chicago no início do século XX, em que Wright teve um grande protagonismo. A força das linhas horizontais e os amplos espaços, que transitavam, naturalmente, desde o interior para o exterior, eram algumas das características e novidades da *Robie House*. Porém, à mistura com todas estas novidades espaciais e arquitetônicas, Wright implementa grandes princípios bioclimáticos.

No que toca a ventilação, o arquiteto prevê dois trajetos para a circulação de ar. No verão, o ar faz a sua entrada por umas aberturas das palas prolongadas, desde aí, o ar circula entre a laje e a cobertura até a chaminé, onde faz a saída para o exterior. Com isto, o arquiteto consegue fazer com que o vão entre a laje e a cobertura inclinada permaneça fresco e não influencia o conforto interior.²² Em tempos mais frios, existe possibilidade de fechar as aberturas nas palas, desta maneira, o ar circula desde o interior, pelas aberturas da iluminação, até a chaminé

Existem também outras técnicas que fazem da *Robie House* uma obra de destaque. Reyner Banham, sublinha as qualidades bioclimáticas desta obra, num artigo de 1966, na revista *Arts & Architecture*, bem como no seu livro *The Architecture of the Well-tempered Environment*. O crítico descreve a parte subterrânea da casa como um “*cool air tank*” que, por sua vez, conseguia manter a casa sempre fresca.²³ Este piso subterrâneo garante o fluxo de ar, desde a cota mais baixa até a cota mais alta. O ar fresco obriga o ar mais quente a subir e a fazer a sua saída da casa.

O prolongamento da cobertura, evidente na *Robie House*, também tem a sua função climática, o sombreamento, como em inúmeras obras do autor. Na fachada orientada a sul, o prolongamento da cobertura é menos acentuado do que aquele da fachada Este e Oeste. Com isto, os raios solares de inverno conseguem chegar até ao interior, no entanto, no verão, não existe incidência solar no interior. Aliás, Reyner

²² Ibidem

²³ BANHAM, Reyner - **The Architecture of the Well-tempered Environment**. p.117

Banham, explica que no verão, os raios solares ficam a uma distância mínima, do interior.²⁴

Do ponto de vista climático, a *Robie House* é verdadeiramente interessante e revela, o quão dedicado era o arquiteto nesta temática. Wright, não se desconcentrou do estilo *Prairie*. Contudo, no meio de toda a narrativa formalista, desde o mobiliário até ao volume principal, o arquiteto engenha técnicas e maneiras para interagir com o clima. Numa primeira análise, este engenho bioclimático, passa despercebido.

²⁴ BANHAM, Reyner - Frank Lloyd Wright as Environmentalist. **Arts & Architecture**. pp. 27-30.



Figura 8 – Vista exterior, *Robie House*.

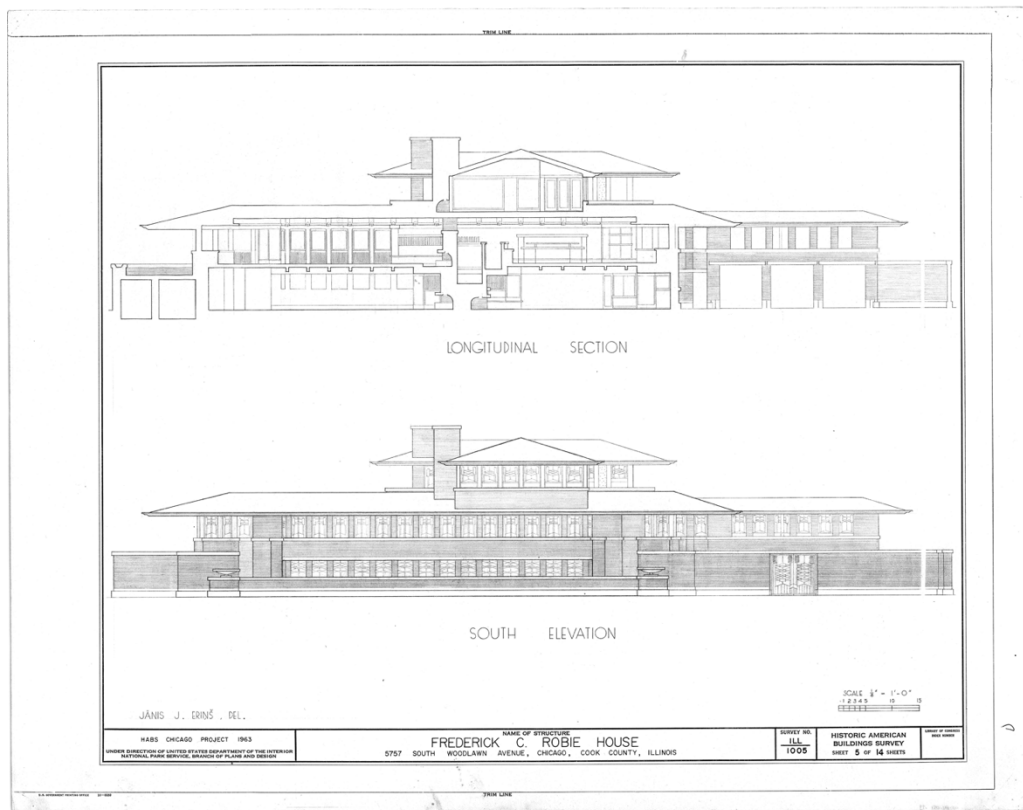


Figura 9 - Cortes *Robie House*.

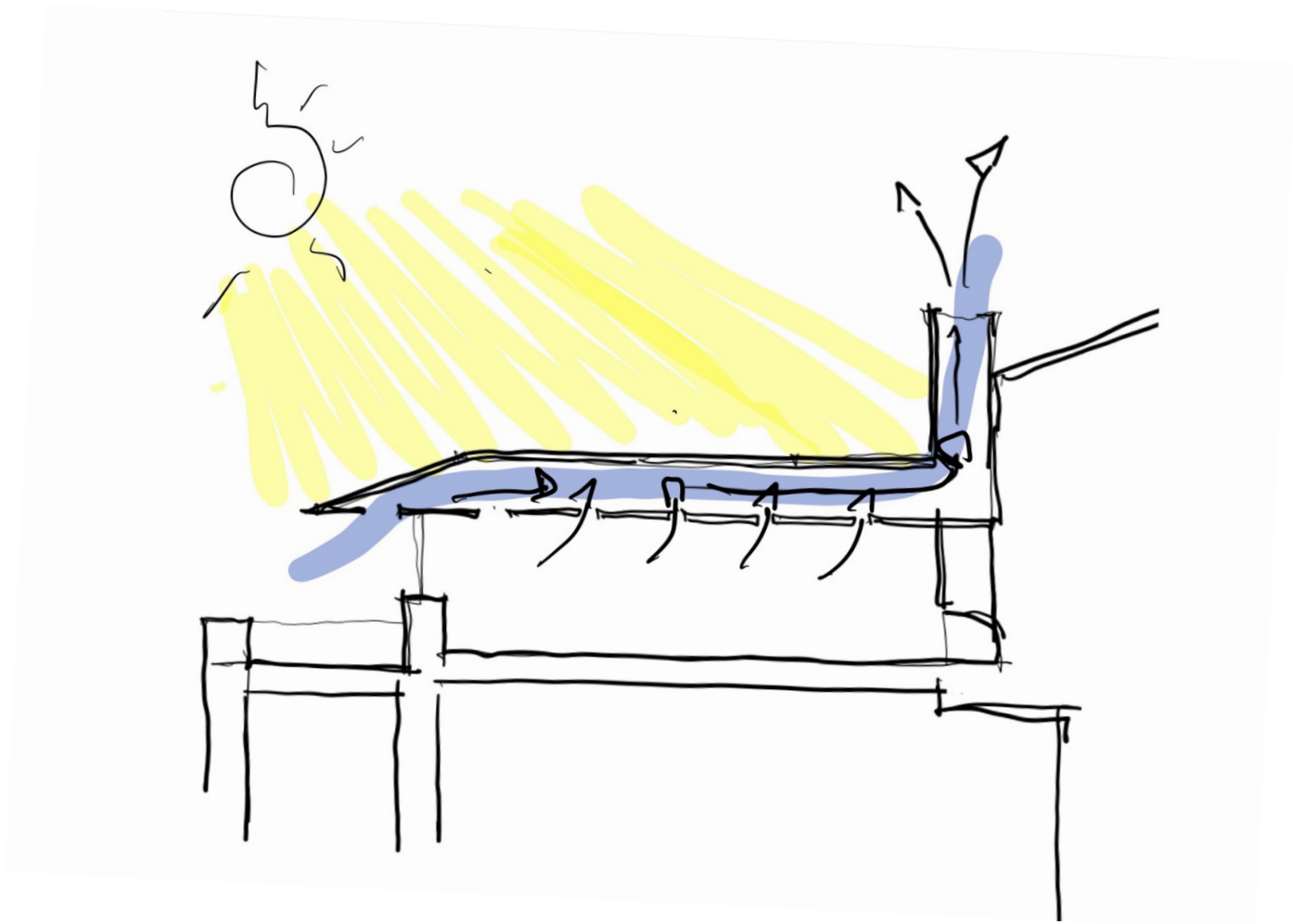


Figura 10 - Esquema de princípios de ventilação, *Robie House*.

Jacobs House II: exposição solar, sombreamento, ventilação

A obra que reuniu o máximo de preocupações e técnicas, bioclimáticas foi a *Jacobs House II*, de 1943. O arquiteto já tinha projetado uma moradia para a família Jacobs. Porém, para esta obra, a família desafia o arquiteto para uma casa mais económica e autossustentável.²⁵

O projeto é composto por uma tipologia bastante simples. No piso de rés-de-chão, situam-se as partes de convívio, enquanto, no piso superior são os quartos. Os quartos e a cozinha são as únicas divisões compartimentadas.

Para entender as escolhas de Frank Lloyd Wright, é necessário perceber o clima do lugar. Em Wisconsin o clima é categorizado como *húmido-continental*, o que se traduz em temperaturas altas no verão, ao contrário dos invernos, onde as temperaturas são baixas com possibilidade para queda de neve. O arquiteto concentra-se num desenho que consiga aquecer, passivamente, a casa, ao mesmo tempo que também consegue ser ventilada no verão.

A fachada sul, semicircular, é característica. Foi assim projetada, para absorver o máximo de energia solar no inverno. Ao mesmo tempo, no verão, são poucos os raios solares que conseguem chegar até ao interior devido ao comprimento da cobertura. A área exterior também beneficia destas características e revela-se bastante confortável, tanto no inverno também como no verão, devido a proteção dos ventos oriundos do Norte.²⁶

Para completar o objetivo bioclimático, Wright projeta, o piso da sala principal em tons escuros. Com isto, o arquiteto prevê a máxima captação de energia solar. Para incrementar a máxima eficiência, o arquiteto define uma parte da sala em pé direito duplo, assim, permitindo que o calor chegue até ao piso superior.

²⁵ HESS, Alan; WEINTRAUB, Alan – **Frank Lloyd Wright Natural Design Organic Architecture** p.28

²⁶ BELTRÁN FERNÁNDEZ, María de los Ángeles ; GARCÍA MUÑOZ, Julián ; DUFRESNES, Emmanuel - Analyse bioclimatique de la Maison Jacobs II de Frank Lloyd Wright. In **2emes Rencontres interdisciplinaires doctorales de l'architecture et de l'aménagement durables**.

No inverno, para a proteção das brisas do Norte, a casa protege-se com uma elevação na cota do terreno. Esta elevação cobre grande parte da fachada norte e deixa apenas lugar para uma estreita janela longitudinal. No entanto, se o aquecimento solar não for suficiente, a casa também contém chão radiante e lareira, no espaço comum.

A Jacobs House II foi verdadeiramente marcante na cronologia de trabalhos do arquiteto. É esta casa que define o começo de uma nova série de trabalhos de Frank Lloyd Wright, as *Hemicycle Houses*.²⁷ Em comparação com a *Robie House*, este projeto destaca-se do ponto de vista bioclimático. Aqui, o arquiteto não tem um estilo a seguir, apenas se rege pelo que o clima requer. No limite, o arquiteto segue a famosa afirmação do arquiteto Louis Sullivan “Form follows function”, numa realidade onde a função é o clima.

²⁷ HESS, Alan; WEINTRAUB, Alan – **Frank Lloyd Wright Natural Design Organic Architecture** p. 29

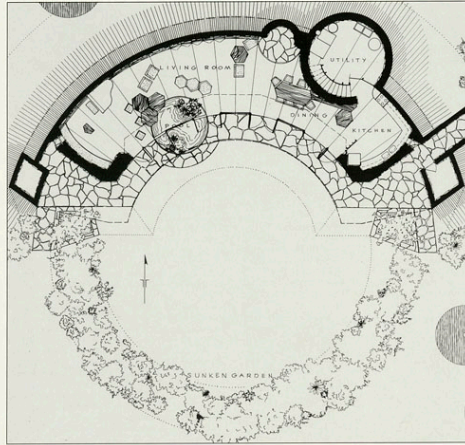


Fig. 16.5 Jacobs House II, first-floor plan, final design. Minor changes were made during construction, especially the addition of a service room in back of the kitchen. ©1988 FWWright Fdn.

material highly adaptable to the arcs, circles, chamfers, and angled corners that the geometry of the plan demanded. Herb finally found a quarry on the farm of a pea-grower who agreed to supply hand-laid stone for three dollars a ton plus a dollar for hauling it to the site.

The Jacobs had hoped to get an early start on the house in the spring of 1947, but the search for the stone and a mason, and all the spring farm work, delayed the construction. Herb had looked in vain for a general contractor who would take on the job. In the end he decided he would have to be the general contractor himself, which meant finding, hiring, and supervising all the trades. It was also a

way of cutting costs. In June, two Talesin apprentices arrived with tape and transit to stake out the exact position of the house. By good fortune their measurements agreed with the crushed-rock foundations Herb had already laboriously installed following his own rough calculations for the layout.

It was not until August that Herb persuaded a mason and his two helpers to start the stonework. In just two days they laid one course of stone around the entire perimeter of the house on a mortar bed atop the crushed rock foundation wall. Even though the summer was almost over, Herb and Katherine could not help thinking that they might be able to spend Christmas in their new home, if the masonry

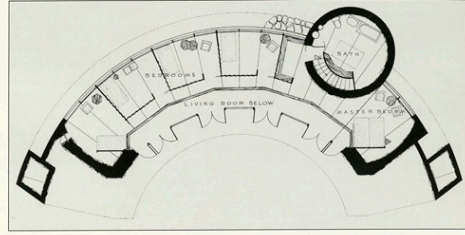


Fig. 16.6 Jacobs House II, second-floor plan, final design. Minor changes were made during construction, particularly the furniture arrangement, addition of closets in the bedrooms and bath, and a door from the master bedroom. ©1988 FWWright Fdn.

work could continue at this pace. But after only two days, the masons went back to working their farms, and the construction stopped for the winter.

So far Herb had been able to pay the construction costs out of his salary, but with the prospect of his house being finished in 1948, he knew he would need a mortgage. By good luck, the same building and loan company that provided the money for their first house was willing to do the same for this one, though the lender remained dubious about financing a building so far out in the country. By then Herb and Katherine realized that the costs of their new home, built in the inflationary post-war period, were going to be higher than the cost of their first house built in the midst of the Depression. Herb borrowed \$15,000 to finish the hemicycle.

He was also completing his first book, *We Chose the Country*, a humorous account of life on their farm. In it he mentioned that Wright came by one day to have Herb look over Wright's new version of his autobiography. Seeing this in a proof sent by Herb's publisher, Wright thought that Herb was claiming to have helped him write his autobiography. He sent Herb a scathing letter severing their relationship. With that, Herb and Katherine became totally responsible for getting the hemicycle built.

It was the last week of March 1948 when the masons returned for three months of steady work. The newly-quarried stone arrived two or three times a week, still soft enough for working, but the masons found that little trimming was needed. In the walls Wright wanted to capture the effect of the stone as

it appeared in natural outcroppings, with thin edges exposed and joints deeply raked. Katherine eventually took over the painstaking job of raking the joints as she had more patience than the masons, and she kept an unobtrusive eye on the workmen as well.

The stone cost about \$1,500 delivered and the mason's wages about the same. The chief mason earned \$2.00 an hour and his helpers \$1.80.¹⁶ To reward their hard work Katherine baked a pan of frosted cake and served it with a bottle of beer at 4:30 each afternoon. Herb helped too when he got home from *The Capital Times* at 5:00 by piling up stone for the masons. At night he and Katherine went over the plans so she could instruct the masons the next day about particular details, such as beam pockets, nasters, and anchor bolts. As the house took form, the Jacobses were forced to resolve some parts of the design that did not satisfy them. Cut off from Wright, they had to make decisions on their own. Katherine wanted a service room or at least a rear door. Wright disliked rear doors, fearing they would become the door everybody used, coming in through a messy kitchen and bypassing the aesthetic preparation of a well-designed front entry. An early floor plan shows that Wright did sketch in a back door from the tunnel to the kitchen, but the idea did not survive in the working drawings.¹⁷ Examining the plans, the Jacobses noticed that three walls of the needed service room were already shown: the back wall of the house, the curved wall of the utility tower, and the side wall of the tunnel. They decided they could easily make a

Figura 12 - Plantas, *Jacobs House II*.



Fig. 16.13 Jacobs House II, living area, looking toward kitchen. Indoor hall of circular pool visible at right. Photograph by Ezra Stoller, © Esto.



Fig. 16.14 Jacobs House II, dining area, showing built-in shelves and tables. Photograph by Herbert Jacobs. Courtesy Art Institute of Chicago, Jacobs Collection.

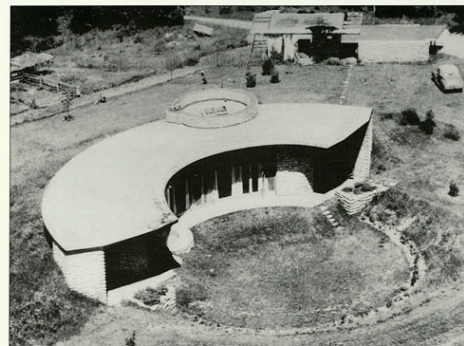


Fig. 16.16 Jacobs House II, aerial view from the southwest, showing sunken garden, house and barn. Courtesy Art Institute of Chicago, Jacobs Collection.

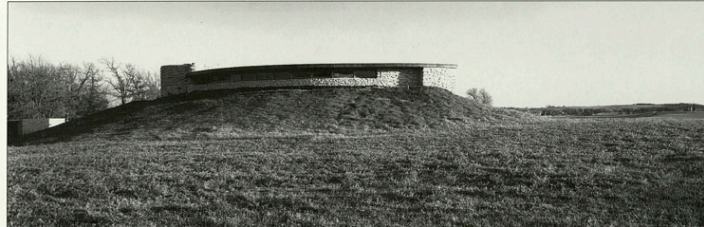


Fig. 16.15 Jacobs House II, view of north side showing protective earth berm sloping up to the bedroom windows. Photograph by Ezra Stoller, © Esto.

Figura 11 - Fachada Norte e Sul, *Jacobs House II*.

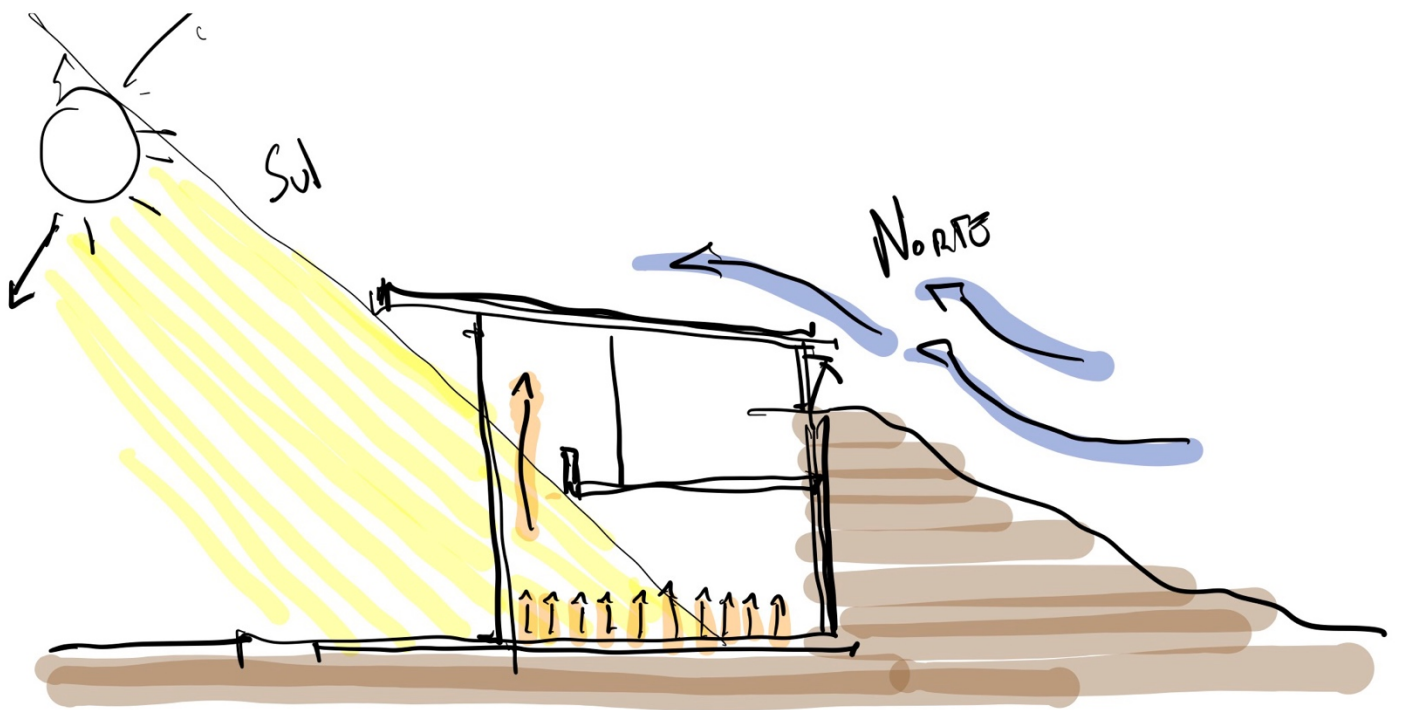


Figura 13 - Princípios bioclimáticos da *Jacobs House II*.

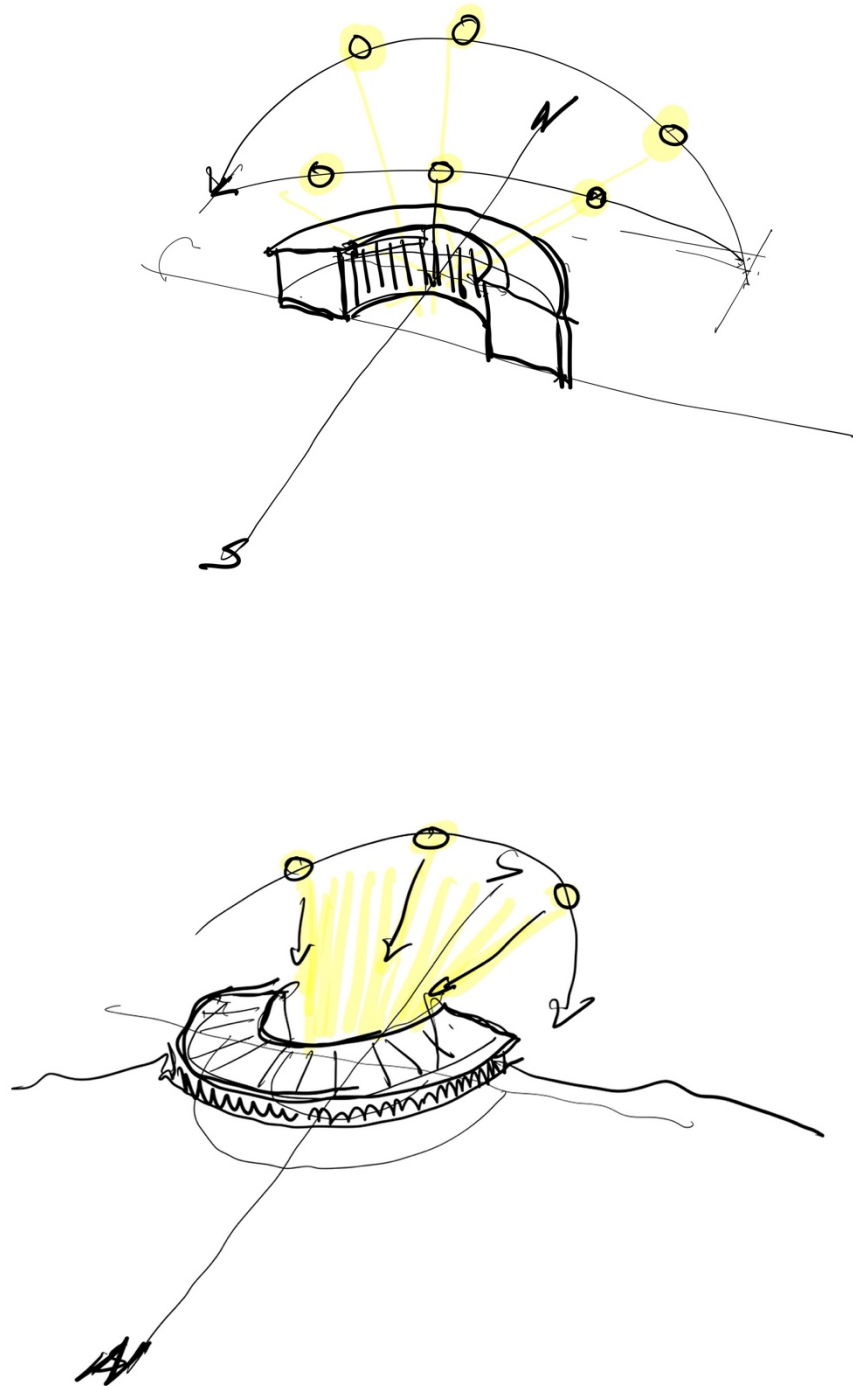


Figura 14 - Exposição solar *Jacobs House II*.

Walker House: ventilação

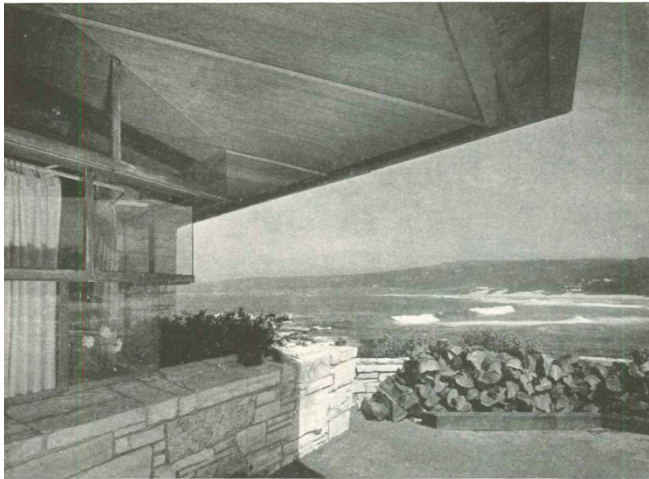
Na *Walker House*, obra de 1948, destaca-se o detalhe da caixilharia, que serve o propósito de ventilar a casa. A obra situa-se em São Francisco, onde clima é *Mediterrâneo*.²⁸ O volume da casa derruba-se sobre o mar, alias, os muros que suportam o terreno da residência, estão sobre as pedras da praia. Isto faz com que haja um grande contacto com o mar, que por sua vez traz brisas e estabiliza as temperaturas durante todo o ano.

Na sala principal, orientada a Oeste, com vista para o Oceano Pacífico Norte, Frank Lloyd Wright, propõe um desenho que, na sua totalidade, torna possível a ventilação pelo interior deste espaço comum. Neste caso, a atenção está na caixilharia da sala principal. Mais uma vez, o engenho do arquiteto é posto a prova e resulta num detalhe da caixilharia, para conseguir a ventilação de todo o espaço.

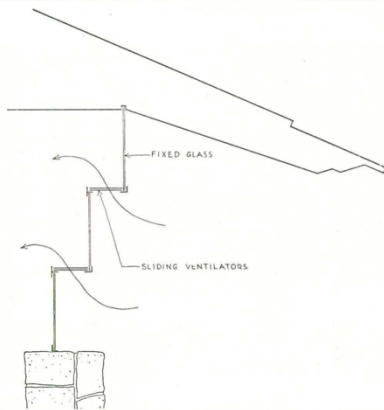
A caixilharia foi desenhada contemplando umas pequenas aberturas. Isto possibilita que, quando necessário, possa existir ventilação desde as janelas, pela sala comum e terminando na chaminé. Para completar o circuito de ventilação, Frank Lloyd Wright prevê a lareira para cumprir tal função. Assim, as brisas faziam a sua entrada pelas aberturas da caixilharia e saíam pela chaminé. Nos projetos de Wright, era comum que a chaminé tivesse utilidade no inverno e no verão.²⁹

²⁸ <https://www.meteoblue.com>

²⁹ HESS, Alan; WEINTRAUB, Alan – **Frank Lloyd Wright Natural Design Organic Architecture** p.167



Onto his intricate plan



Broad brim, overhanging the walls by 6' in most places, is pulled down low all the way around to protect the "eyes" of the house, the windows, against intense sky glare, sea spray and driving rain. Stepped-out sash (shown above at master-bedroom corner) allows dry, closely controlled ventilation through horizontal-sliding boards between steps—even in high wind, water.

Covered walk leads from carport in background to front door, past terrace sheltered in the crook of the plan. Vertical fins of plywood at left act as baffles to keep sun off inside hall.

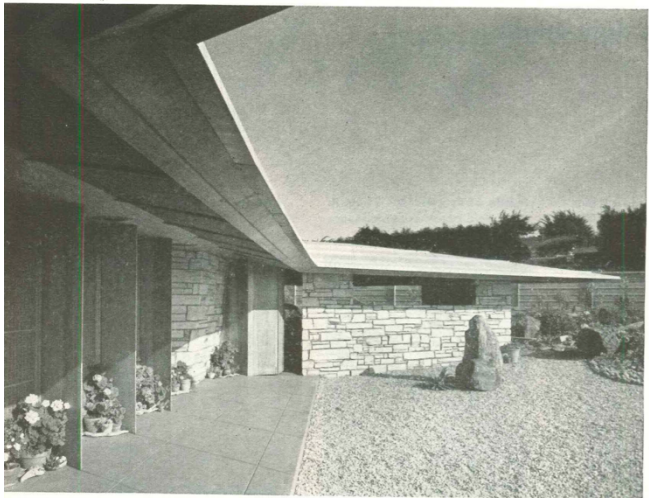
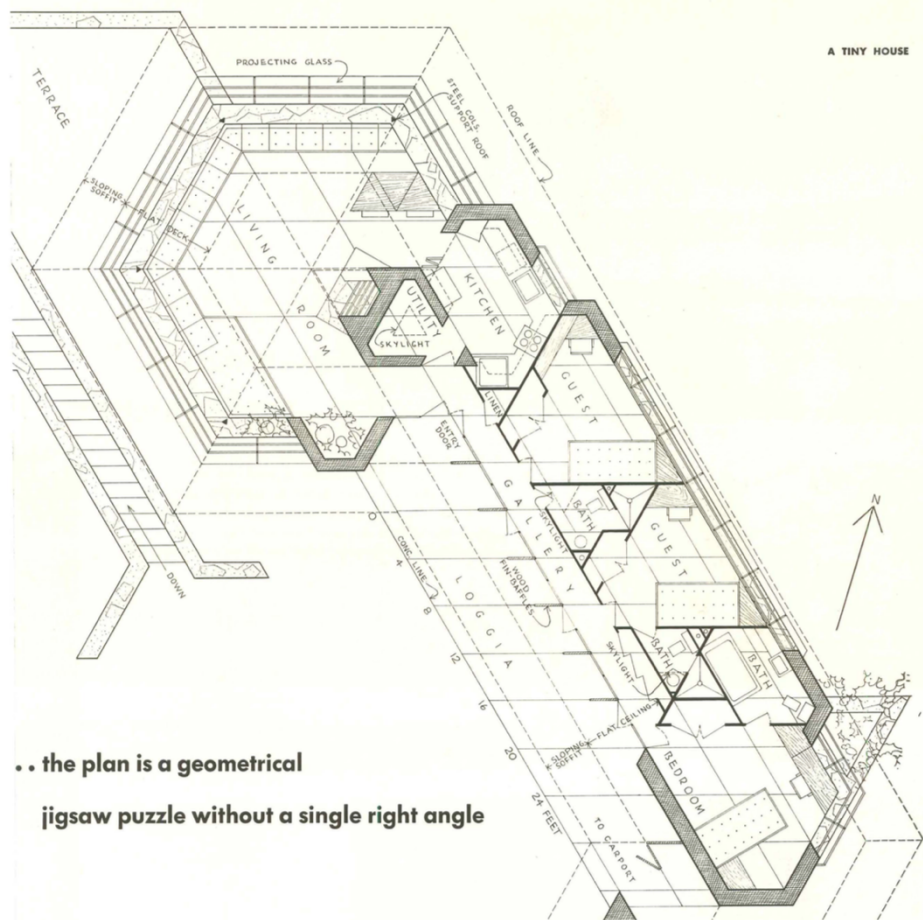


Figura 15 - Walker House.



.. the plan is a geometrical
jigsaw puzzle without a single right angle

hip's galley, roughly 74 sq. ft.,
is tucked behind huge chimney.
Everything is within easy reach.

In-line plan needs long hall, but
Wright saved space by paring it to
30". (Pullman corridor is 26".)

Inside baths, less than 25 sq. ft.
each, yield more outside wall space
to bedrooms, are skylighted.

Imagine a window 12' long in an
80 sq. ft. room! Triangular bedrooms
give space where it is needed.



Figura 16 - Plantas, Walker House.

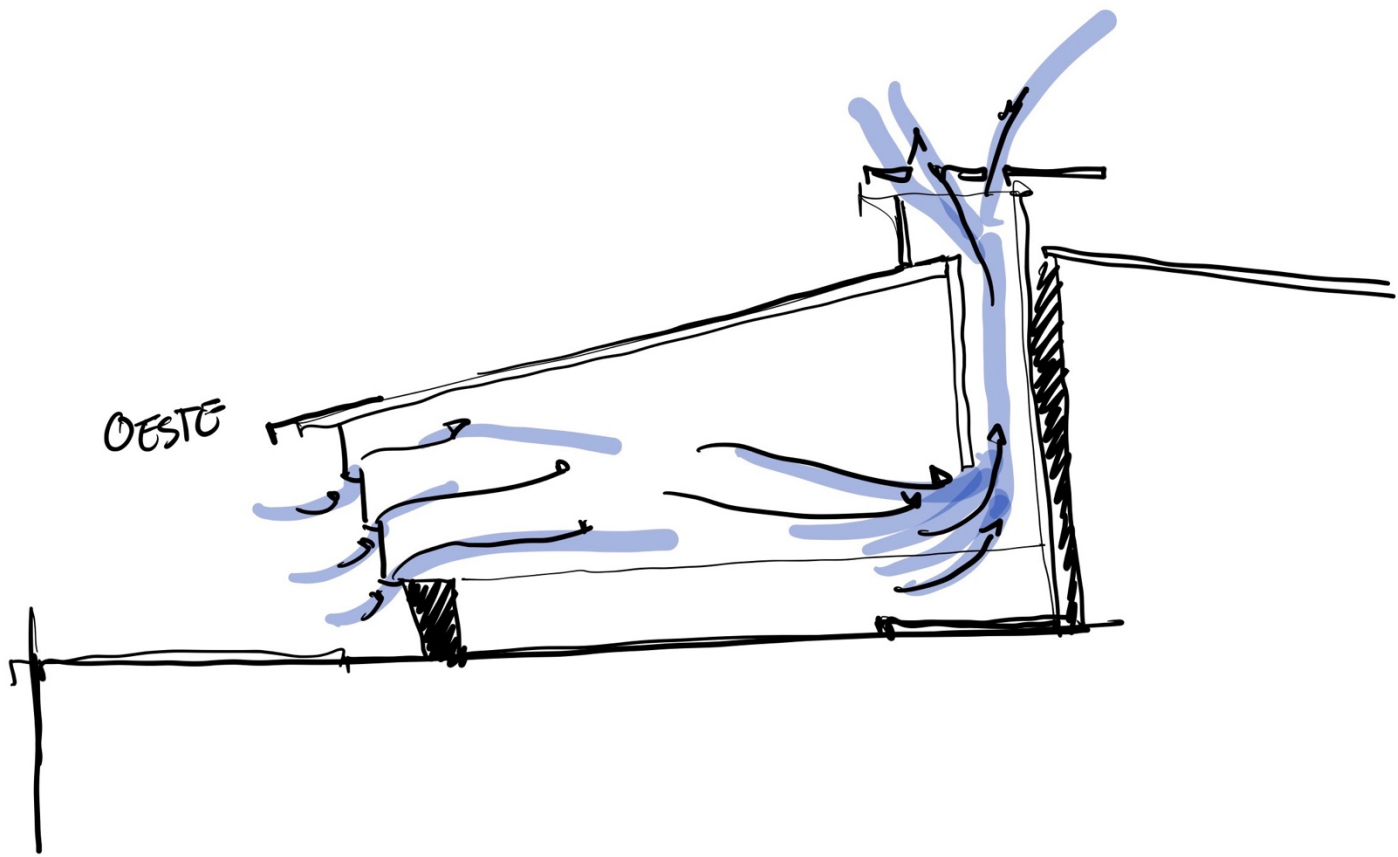


Figura 17 - Ventilação na *Walker House*.

Harold Price Sr. House: arrefecimento evaporativo, ventilação e exposição solar

A *Price House*, projeto que data de 1954, é um grande exemplo da polivalência das propostas de Wright. No que diz respeito ao clima, Wright propõe uma experiência espacial completamente distinta daquelas da *Robie House* ou até da *Jacobs House II*. O clima de Paradise Valley, em Arizona, é Deserto, o que significa que as temperaturas oscilam entre os 7°C e os 40°C, aliado a estas temperaturas também é importante mencionar os poucos dias com chuva.³⁰

O projeto consiste em dois volumes principais, separados por um hall que não apresenta um espaço totalmente fechado, ventilado, portanto. Neste hall está presente uma das fontes do projeto. Ao juntar uma fonte de água e a ventilação, este espaço, apenas pela sua descrição, transmite a frescura necessária para um clima como este.³¹

O programa separa-se em dois volumes fechados, um com os quartos e outro com a sala comum e a cozinha. Para a fachada Sul de ambos estes volumes o arquiteto apenas propõe pequenas janelas na cota mais alta, assim, com luz indireta o interior fica iluminado.

Na fachada Norte, pelo contrário, as janelas são maiores, fazendo com que o espaço ganhe transparência. No entanto, para garantir com que os raios solares, do por-do-sol, não fizessem a sua entrada, o arquiteto desenha as divisórias entre os vãos salientes.

³⁰ <https://weatherspark.com>

³¹ HESS, Alan; WEINTRAUB, Alan – **Frank Lloyd Wright Natural Design Organic Architecture** p. 45



Figura 18 - Interior da *Harold Price Sr. House*.

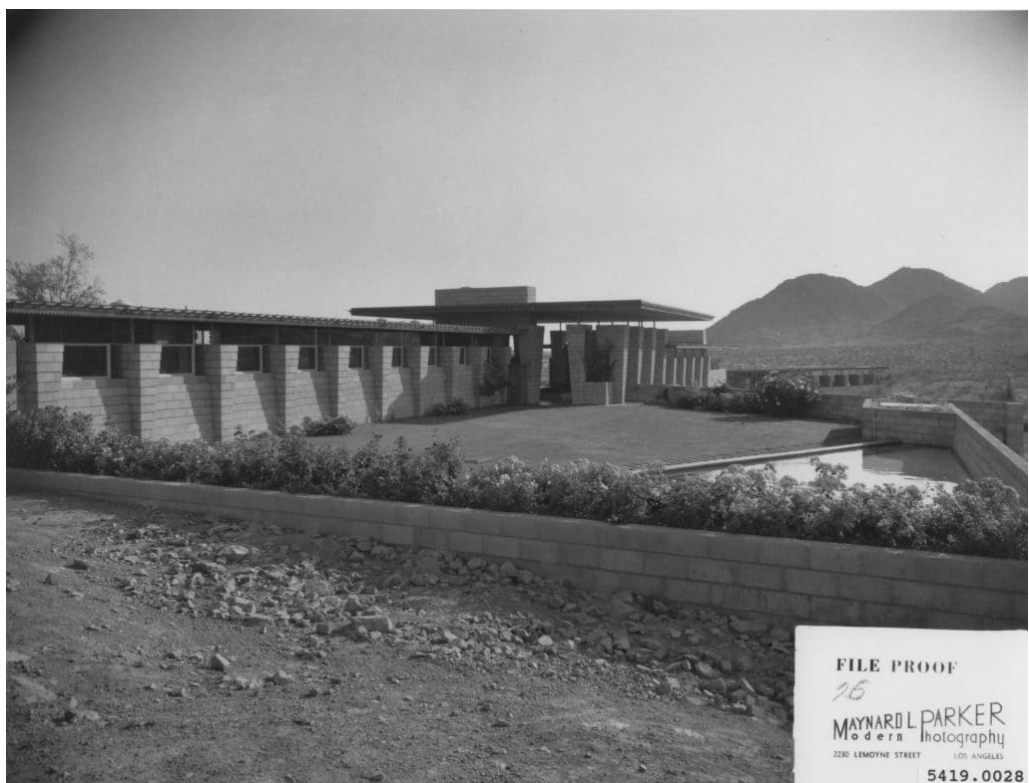


Figura 19 - Fachada Norte, *Harold Price Sr. House*.

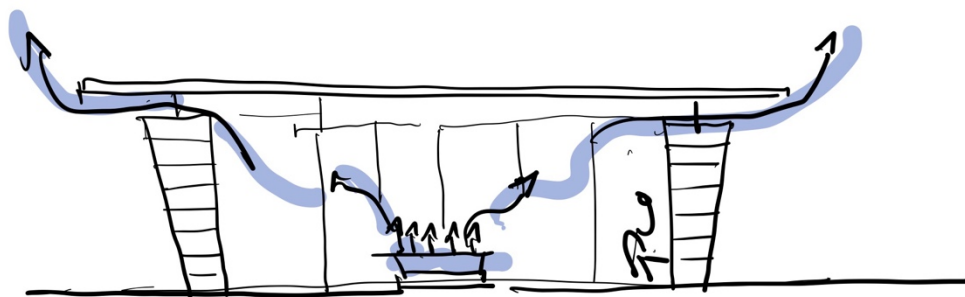
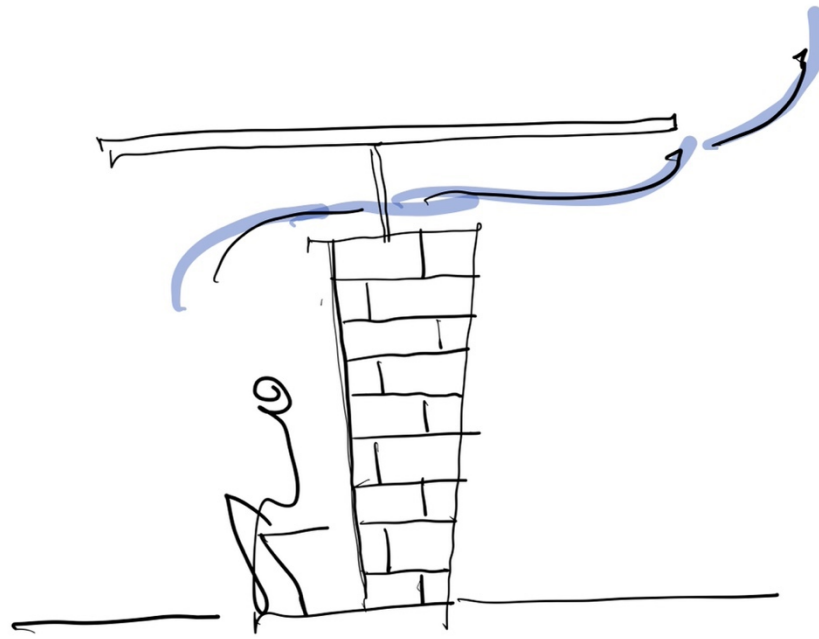


Figura 20 - Ventilação e arrefecimento evaporativo, *Price House*.

Gillin House: ventilação

A *Gillin House*, contruída em 1958, no estado de Texas, em Dallas, foi uma das últimas obras do arquiteto. Aqui, o clima é subtropical húmido e os verões quentes. Desta maneira, o arquiteto, implementa o desenho necessário para a ventilação acontecer.

Na sala comum, o arquiteto propõe uma saída de ar no topo da cobertura. Não é certo se o arquiteto previa um mecanismo para ajudar a extração de ar, no entanto, o desenho da cobertura e a ampla abertura da sala para o exterior, indica uma clara intenção de ventilar o espaço.

Como é perceptível na figura abaixo, a cobertura denuncia uma saída de ar. Desde o interior, também é visível a infraestrutura para ventilar a sala. Neste caso, Wright deixou com que o seu objetivo bioclimático desenhasse a cobertura, o que não aconteceu, ou não é tão evidente na *Robie House*. É precisamente sobre esta interação que trata esta investigação, a influencia do clima na forma e na materialidade da arquitetura.

Cada uma destas obras apresenta diferentes maneiras e engenhos que o arquiteto utilizava para atingir o conforto térmico. As obras e o conhecimento de Frank Lloyd Wright devem-nos inspirar como arquitetos e deve-nos fazer perceber que todos os elementos naturais merecem consideração no modo como interagem com os espaços.



Figura 21 - Vista exterior, *Gillin House*.



Figura 22 - Sala comum da *Gillin House*.

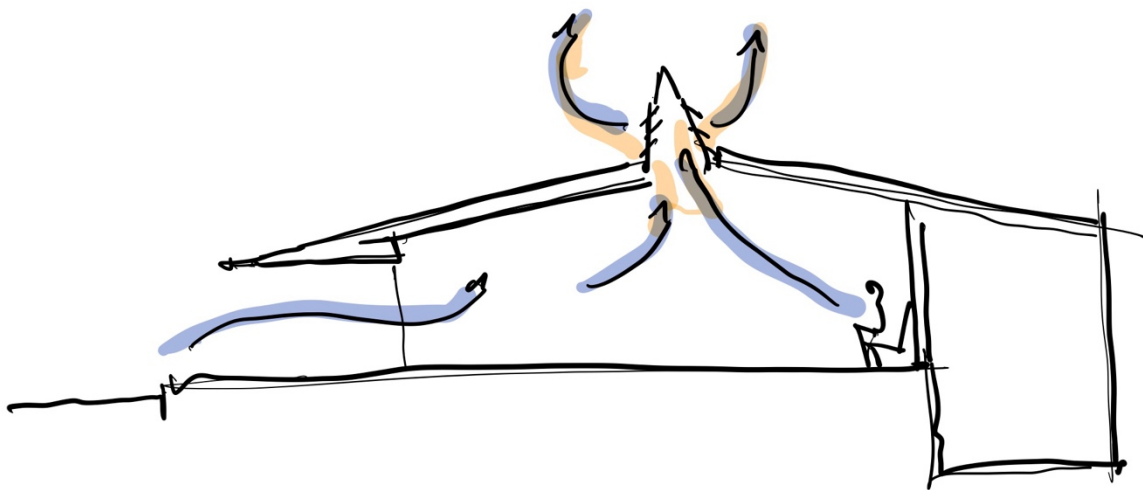


Figura 23 - Esquema de princípio de ventilação da *Gillin House*.



Figura 25 - *Haute Cour*, Chandigarh.



Figura 24 - *Le poème de l'angle droit*, Le Corbusier, 1955.

Le Corbusier e o dilema entre o passivo e o ativo: *mur-neutralisant, serre-chaude, respiration exacte, solarium, courant d'air, parasol e brise-soleil*

O principal objetivo deste capítulo é levar o autor, à cronologia de acontecimentos históricos, da relação entre a arquitetura e o clima, num contexto do objeto arquitetônico, com foco no arquiteto Le Corbusier. A época temporal em destaque, estende-se desde os anos 20 até ao fim dos anos 50.

Para o enriquecimento deste trabalho e tendo em conta que este tópico já foi extensivamente estudado, por vários autores, nomeadamente críticos de arquitetura, serão referenciados, tal como os seus trabalhos. O trabalho de Daniel A. Barber, é de extrema relevância para este capítulo, mais especificamente o seu último livro, *Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning*²², que nos leva à história da expansão do pensamento bioclimático, moderno, e a sua relação com a economia. Contudo, o foco principal, é entender de que maneira é que o objeto arquitetônico interage com o clima e realçar a importância que, nesta altura, era proposta para o clima.

Com isto, a interação entre o clima e as obras do arquiteto Le Corbusier, não foi sempre linear. O arquiteto investigou e desenhou várias maneiras de interação com o clima, porém, o objetivo final é único, atingir o máximo de conforto possível. É neste processo que se presencia a criação de arquitetura de referência, para qualquer época temporal.

Mesmo tendo em conta que este trabalho se resume a objetos arquitetônicos, é de realçar que o arquiteto estendeu a sua paixão pelo clima até ao seu trabalho urbanístico.

²² A. BARBER, Daniel – **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning**

Villa Schwob: mur-neutralisant

Em 1916, Le Corbusier, projeta a Villa Schwob, uma moradia, independente, inserida numa malha urbana em La Chaux-de-Fonds, na Suíça. É neste projeto, onde são notáveis as primeiras preocupações climáticas do arquiteto, Le Corbusier aproveita a luz solar com uma exposição a sul e, incorpora entre o vão de vidros duplos, também virado a sul, tubagens de aquecimento. Este princípio irá, mais tarde, levar o arquiteto a desenvolver a técnica do *mur-neutralisant*.³³

Para começar uma rigorosa análise climática a esta obra, é necessário entender a sua localização. La Chaux-de-Fonds, na Suíça, em 2022, teve como recorde de temperatura máxima 25°C, nesse mesmo mês, a temperatura mínima, rondava os 11°C. Esta primeira análise é fundamental para entender que técnicas, ou que tipo de desenho, que era necessário para tornar o espaço confortável. Como é evidente, é necessária a máxima atenção à captação de luz solar, principalmente no inverno. Outro fator que também é necessário entender é, a natureza topográfica e urbanística do local, porque podem influenciar fortemente o desenho do arquiteto. Neste caso, é evidente que existe uma malha que define a orientação dos edifícios do local. O edifício de Le Corbusier, não foge à regra, insere-se na malha urbana, com a mesma orientação dos envolventes. Por outro lado, a topografia, tem pouca influência, é bastante simples e impõe poucas condicionantes.

Tendo em conta estes fatores, é notória a exposição solar da obra. O vão que contempla o pé direito duplo, é orientado a sul, consegue captar grande energia solar e ao mesmo tempo, a caixilharia de dupla altura, evita grandes perdas devido a técnica que irá levar, mais tarde, ao desenvolvimento do *mur-neutralisant*.³⁴ Em contraste com o trabalho mais tardio do arquiteto, nesta obra, Le Corbusier projeta a tubagem com água quente a passar, também, nas paredes duplas.³⁵

³³ BANHAM, Reyner - **The Architecture of the Well-Tempered Environment** pp.158, 159

³⁴ Ibidem

³⁵ URBANO GUITIÉRREZ, Rosa – **“Pierre, revoir tout le système fenêtre”: Le Corbusier and the development of glazing and air-conditioning technology with the Mur Neutralisant (1928-1933)** p.109, 110

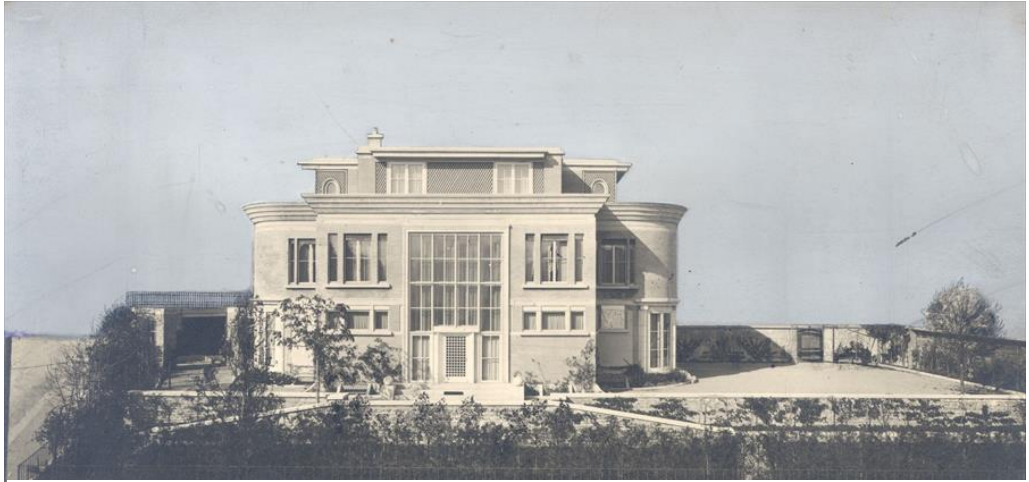


Figura 26 - Fachada Norte, *Villa Schwob*.



Figura 27 - Fachada Sul, *Villa Schwob*.

Na fachada norte, o arquiteto opta por incluir o mínimo de janelas possíveis, pode-se justificar por questões de privacidade, no entanto os ganhos térmicos, com esta decisão, são inúmeros, principalmente quando é tido em conta a tecnologia primitiva do vidro nesta altura.

Depois de todos estes fatores apresentados, é fácil presumir a importância desta obra. Aliás, no ponto de vista climático, é rigoroso afirmar que esta obra, partilha o protagonismo com aquelas mais importantes do arquiteto. No decorrer do trabalho, vai se tornar mais clara, a extrema importância deste projeto.

A tecnologia presente neste projeto, não fica apenas pela técnica semelhante ao *mur-neutralisant*, também se estende à sua estrutura, que já é de técnica *Domi-no*. Técnica idealizada pelo arquiteto em 1914, e que tornou possível os grandes vãos, a transparência e a modernidade. Portanto, mesmo com a sua estética claramente pré-modernista, e claro, sem completar os cinco pontos da arquitetura moderna, a *Villa Schwob* é de extrema relevância para o princípio da modernidade e marca, no entender do trabalho, o início do percurso climático do arquiteto.



Figura 28 - Exposição solar de inverno, *Villa Schwob*.

Domi-no

Os *novos tempos*, que Le Corbusier tanto ambicionou, era um “projeto” em grande escala. Não se tratava, apenas, de uma nova estética ou técnica construtiva para a arquitetura. Le Corbusier e todos os outros envolvidos, queriam introduzir uma nova maneira de viver, um novo cotidiano, aliado à máquina e à nova revolução industrial. No campo urbanístico, são inúmeros os projetos que mostram o quão revolucionário era a época moderna que o mesmo idealizava.

Em certa parte deste ambicioso projeto, está incluído o clima ou, a convivência com ele. A modernidade também trazia esta vertente do bem-estar. Procurava mais transparência, para o exterior, na arquitetura, queria mais convivência com a natureza e, trouxe, sem dúvida, por consequência, ou não, uma nova interação entre o indivíduo, a arquitetura e o clima.³⁶

A revolucionária estrutura em *Domi-no*, foi um dos pilares da modernidade. Durante a primeira guerra mundial, o arquiteto Le Corbusier, procura um método de construção rápida e eficaz. Projeta uma técnica para a rápida reconstrução de casas, na zona de Flandres, a mais devastada pela guerra. A investigação do sistema *Domi-no*, começou em 1914 e seria posto em prática logo de seguida, no entanto, a guerra prolongou-se até Novembro de 1918.³⁷ O projeto, acabou por não ser construído, apesar da técnica passar a ser defendida e aplicada pelo arquiteto.

Para Daniel A Barber, este novo sistema construtivo, constitui um marco que teve impacto na relação entre a arquitetura e o clima. Como o próprio refere, até esta altura, a temática estrutural não tinha sofrido grandes evoluções. Eram as paredes que faziam o suporte das lajes, por norma lajes em madeira, e paredes em pedra, o que criava algumas restrições à criatividade espacial. A técnica *Domi-no*, propunha que tanto as lajes como os pilares passassem a ser de betão armado, o que trazia rigidez suficiente para substituir as paredes de suporte por pilares. Esta revolução trouxe mais liberdade espacial, tornou o *pan-de-vere* uma realidade e, por consequência, abriu um novo capítulo na interação da arquitetura com o clima.³⁸

* BARBER, Daniel A. – **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning** p.26

³⁷ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929.** – p. 23 - 25

* BARBER, Daniel A. – **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning** p.32

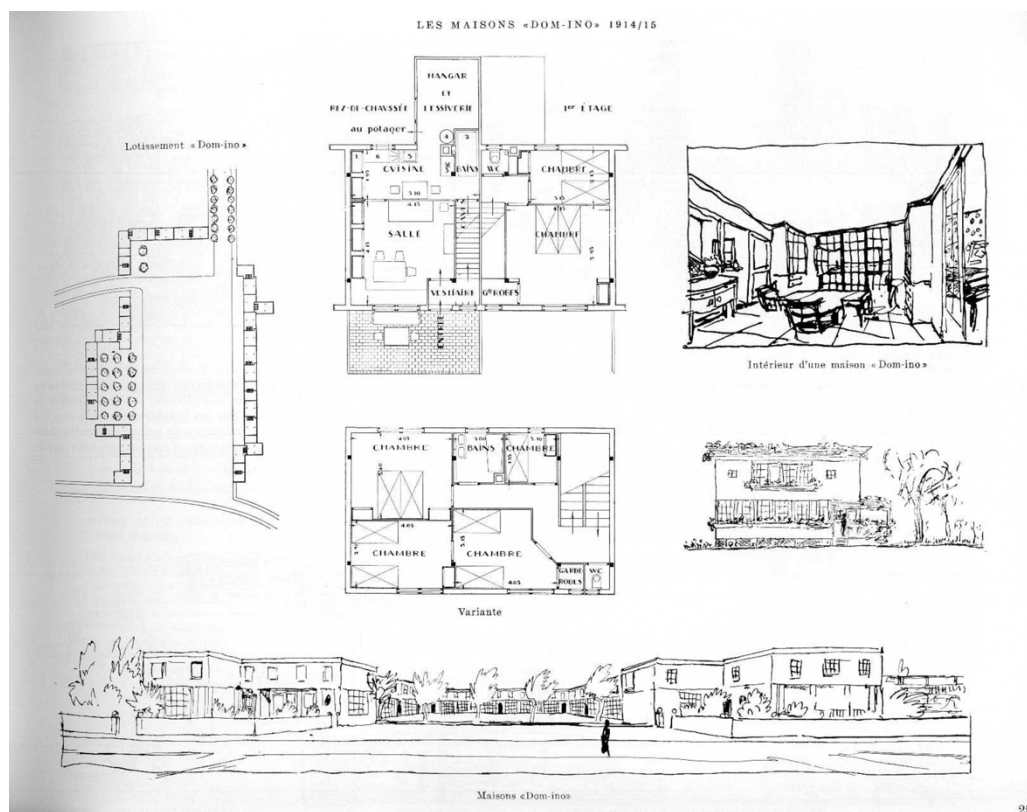


Figura 29 - *Maisons Domi-no*. Oeuvre complète de 1910- 1929.

Villa Mayer: serre-chaude e solarium

Em 1925, Le Corbusier projeta a Villa Mayer. Com esta, o arquiteto revela grandes princípios dos novos tempos, nomeadamente, os bioclimáticos. Em Outubro de 1925, Le Corbusier envia uma carta à proprietária da casa com a sua proposta, a carta era composta por um texto e dez desenhos ilustrativos, dos espaços interiores e exteriores. Na descrição do espaço quatro, surge, uma importante nota:

“Du salon, on domine donc, la lumière afflue. Entre le double vitrage de la grande bâte on a installé une serre-chaude qui d'un coup neutralise la surface refroidissante du verre: là, des grandes plantes bizarres, qu'on voit dans les serres des châteaux ou des amateurs; um aquarium, etc...”²⁹

Este, foi dos primeiros projetos do arquiteto, a implementar a cobertura jardim, ou solário. A proposta incluía uma *serre-chaude*, que se traduz para uma estufa. Le Corbusier, justificava a vegetação, neste pátio envidraçado, como uma barreira térmica neutralizante entre o exterior e o interior. No limite, é possível relacionar esta técnica com as estufas agrícolas ou os jardins botânicos, que por sua vez mostra interesse bioclimático do arquiteto. A primeira aparição de tal vontade surgiu na *Villa Schwob*, com tubagens de água quente, e agora, na *Villa Mayer*, com a vegetação a cumprir o trabalho de aquecer ou neutralizar.

²⁹ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929.** p.89

VILLA MEYER. PARIS 1925. (1^{er} projet)

Madame,

Nous avons rêvé de vous faire une maison qui fût lisse et unie comme un coffre de belle proportion et qui ne fût pas offensée d'accidents multiples qui créent un pittoresque artificiel et illusoire et qui sonnent mal sous la lumière et ne font qu'ajouter au tumulte d'alentour. Nous sommes en opposition avec la mode qui sévit dans ce pays et à l'étranger de maisons compliquées et heurtées. Nous pensons que l'unité est plus forte que les parties. Et ne croyez pas que ce lisse soit l'effet de la paresse; il est au contraire le résultat de plans longuement mûris. Le simple n'est pas le facile. Au vrai, il y aurait eu de la noblesse dans cette maison dressée contre le feuillage...

(2) ... La porte d'entrée serait sur le côté; et pas dans l'axe. Serions-nous passibles des foudres de l'Académie? ...
(3) ... le vestibule, grand, inondé de lumière, ... vestiaire, toilette s'y dissimulent. Du service on y atteint sans détour. Et si l'on monte d'un étage, c'est pour rejoindre le salon haut, hors de l'ombre des futales, et donner de là-haut la magnifique vue sur les feuillages. Et voir davantage du ciel... S'ils sont bien logés, les domestiques, la maison sera bien tenue. Pas de combles, puisqu'on y mettra un jardin, un solarium et une piscine.

(4) ... Du salon, on domine donc, la lumière afflue. Entre le double vitrage de la grande baie on a installé une serre-claude qui d'un coup neutralise la surface refroidissante du verre; là, des grandes plantes bizarres, qu'on voit dans les serres des châteaux ou des amateurs; un aquarium, etc. ... Par la petite porte qui est dans l'axe de la maison, on file vers le fond du jardin par une passerelle, sous les arbres, pour y déjeuner ou y dîner ...

(5) ... cet étage est une seule salle, salon, salle à manger, etc., bibliothèque. Ah oui, le tambour de service! Au beau milieu. Bien sûr! Pour qu'il serve à quelque chose. On le fait avec des briques de liège qui isolent comme une cabine de téléphone ou un thermos. Drôle d'idée! Pas tant que ça... C'est simplement naturel. Le service traverse la maison de bas en haut, comme une artère. Où donc le placer mieux? ... Ses murs du fond et ceux du tambour pourraient être gainés. On voit le boudoir — avec les meubles casiers.

(6) ... le boudoir voit les feuillages des grands arbres et l'espèce de salle à manger d'été. Si l'on veut jouer la comédie, l'on peut s'y vêtir, et deux escaliers permettent de descendre sur la scène, qui est au devant du grand vitrage ...

(7) ... le service monte jusqu'à cette porte qui est à côté de la piscine. Derrière la piscine et le service on prend le petit déjeuner (le premier dessin le montre bien). Du boudoir, on a monté sur le toit où ne sont ni tuiles, ni ardoises, mais un solarium et une piscine avec de l'herbe qui pousse contre les joints des dalles. Le ciel est dessus: Avec les murs, autour personne ne vous voit. Le soir on voit les étoiles et la masse sombre des arbres de la Folie St-James. Avec des écrans couissants on s'isole complètement.

(8) ... Comme à Robinson, comme un peu sur les peintures de Carpaccio. Divertissement... Ce jardin n'est point à la française mais est un bocage sauvage où l'on peut grâce aux futales du Parc St-James se croire loin de Paris ...

... Les services reçoivent le plein soleil, tant mieux. Par les fenêtres, haut placées, sous le plafond, on voit du ciel et des arbres... Tant mieux.

Ce projet, Madame, n'est pas né d'un coup sous le crayon hâtif d'un dessinateur de bureau, entre deux coups de téléphone. Il a été longuement mûri, caressé, en des journées de calme parfait on face d'un site hautement classique.

Ces idées... ces thèmes architecturaux qui portent en eux une certaine poésie sont assujetties à la plus rigoureuse règle constructive... Douze poteaux de béton armé à des distances toutes égales portent à peu de frais les planchers. Dans la cage de béton ainsi constituée, le plan joue avec une simplicité telle qu'on est tenté (combien tenté!) de le prendre pour bête... on est accoutumé depuis des années à voir des plans qui sont si compliqués qu'ils donnent l'impression d'hommes portant leurs piscines au-dehors. Nous avons tenu à ce que les rinceaux soient dotés, classés, rangés, et que seule une masse limpide apparût. Pas si facile que cela! A vrai dire c'est là la grande difficulté de l'architecture: faire rentrer dans le rang.

Ces thèmes architecturaux nécessaires pour que la poésie en jaillisse, des contiguïtés sévères difficiles à résoudre. La chose faite, tout apparaît naturel, facile. Et c'est bon signe. Mais lorsqu'on a commencé à jeter les premières lignes de la composition, tout était confusion.

Si la structure et le plan sont extrêmement simples, on peut admettre que l'entrepreneur sera moins exigeant. Ce qui compte. Cela compte même énormément et cette pénible restriction à l'économie ne devient pardurable que lorsque la solution chante alors... la louange des architectes! Cette dernière manifestation de fatuité n'a lieu que pour faire sourire. Car il faut bien un peu rire...

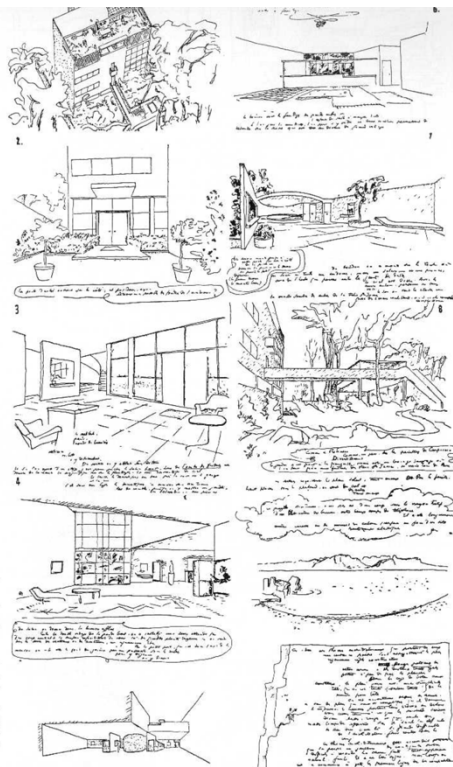


Figura 30 - Proposta para a Villa Mayer, numa carta à proprietária. Oeuvre completa de 1910- 1929.

Maisons de la Weissenhof-Siedlung: serre-chaude

Mesmo que a *Villa Mayer*, não tenha sido construída, em 1927, surge o projeto e mais tarde a construção, das *Maisons de la Weissenhof-Siedlung*, para Stuttgart. Com base nos princípios teóricos da *Maison Citrohan*, Le Corbusier projeta uma das casas para Stuttgart.

Numa perspectiva de orientação solar, Le Corbusier propõe uma grande fachada, com duas camadas de vidro, orientada a sul. Assim, no inverno, quando o sol faz o seu percurso em ângulos mais baixos, a energia solar consegue fazer a sua entrada no espaço interior.

É neste grande vão orientado a sul, que Le Corbusier nos propõe uma técnica semelhante a *Villa Mayer* e à *Villa Schwob*. É composto por duas camadas de vidro separadas por aproximadamente 50 centímetros com vegetação no seu interior. Ainda que não existam desenhos rigorosos para a *Villa Mayer*, esta obra construída mostramos, em parte, o que Le Corbusier idealizava.

No livro *Oeuvre Complete* o autor menciona que este conjunto de duas casas, serviu como pretexto para anunciar os cinco pontos da arquitetura moderna.⁴⁰ Interessante que esta obra que anuncia os cinco pontos da arquitetura moderna, também contém grandes referências ao clima.

⁴⁰ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. p.150

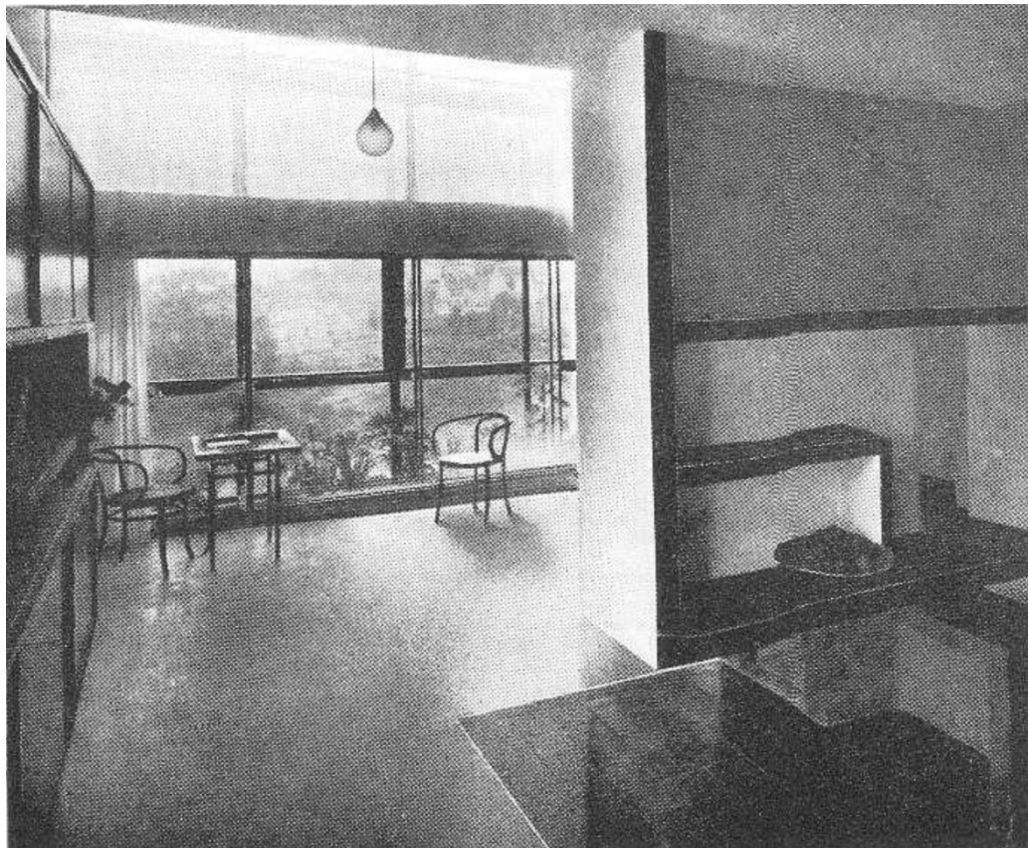


Figura 31 - Sala comum de uma das casas do projeto *Maisons de la Weissenhof-Siedlung*.



153

Figura 32 - *Maisons de la Weissenhof-Siedlung*. Oeuvre complète de 1910- 1929.

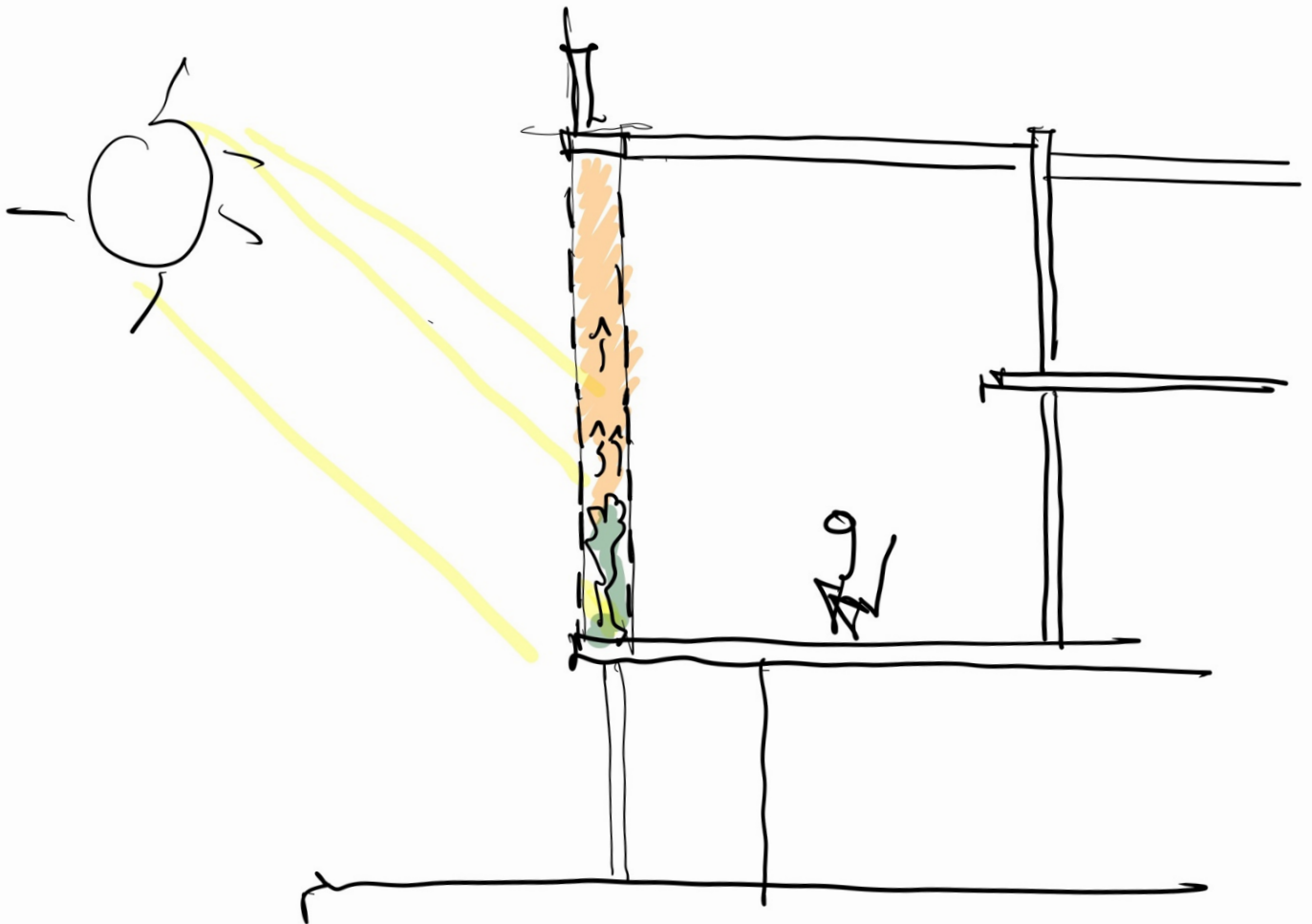


Figura 33 - Esquema de princípio da exposição solar e da *serre-chaude*.

Villa Savoye: solarium

Alguns anos mais tarde, em 1928, o arquiteto projeta a *Ville Savoye*, cujo marco foi verdadeiramente importante para a arquitetura moderna. Demonstrou-nos os cinco pontos da arquitetura moderna, e Le Corbusier mostrou-nos o que, o próprio, ambicionava para o novo quotidiano moderno. Especialmente a proximidade entre o homem e a natureza, o sol, o verde e todos os outros elementos.

Em 1929, quando apresentava o seu projeto da modernidade, numa palestra em Buenos Aires, o arquiteto explica as vantagens das suas propostas. Le Corbusier associa, os seus espaços, com a saúde, o bem-estar e a modernidade. Este aspeto está explícito no excerto do livro *Precisions*:

The entrance door sheltered under the pilotis opens onto this big space, dry, covered, which will become the ideal playground for children.

Light, air flow under the house. What a conquest! The front and rear gardens are united; what a gain of space, and what a sensation of well-being! An the house will be seen off the ground. What a pure architecture!⁴¹

Ao fazer uma descrição do que parece ser a Villa Savoye, o arquiteto traz-nos palavras como “ar” e “luz”. De uma forma poética, Le Corbusier, interliga estes elementos naturais com a narração espacial do espaço moderno. De seguida, o arquiteto explica o terceiro piso e a cobertura, com a mesma poesia.

⁴¹ CORBUSIER, Le - **Precisions On The Present State Of Architecture And City Planning**. p.42

VILLA SAVOYE 1929

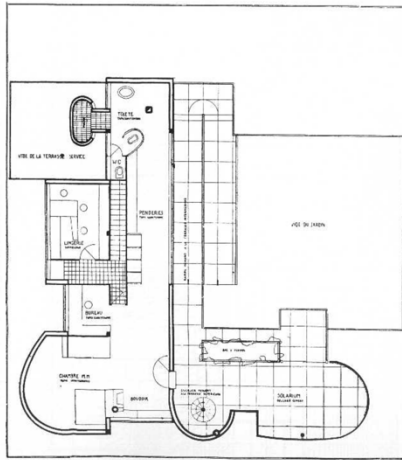


La villa est entourée d'une ceinture de futaies

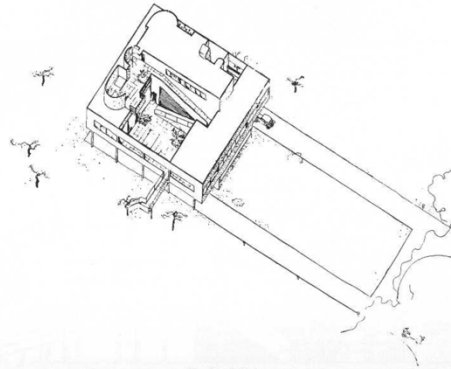
Sous les pilotis, s'établit la circulation automobile, les services domestiques, le garage. L'entrée est dans l'axe, sous les pilotis, et une rampe très douce conduit insensiblement à l'étage.

L'orientation du soleil est opposée à celle de la vue. On est donc allé chercher le soleil par la disposition en décrochement sur le jardin suspendu. Pour couronner l'ensemble, un solarium dont les formes courbes résistent à la poussée

des vents et apportent un élément architectural très riche. Le corps principal de la maison est limité par quatre murs semblables percés en ceinture tout autour, d'une fenêtre unique du système breveté L. C. et P. J. coulissante.



Etage du solarium



Vue à vol d'oiseau

127

Figura 34 - Planta da cobertura e perspetivas, *Villa Savoye*. Oeuvre Complete 1910-1929.

*“Cement paving with grass joints (for a reason) or attractive gravels make a perfect surface. Covered shelters allow a siesta in hammocks. A solarium brings health. In the evening, we dance to a gramophone. The air is clean, noise is smothered, views are distant, the street is far away.”*⁴²

No livro *Ouvre Complete*, o arquiteto refere várias justificações climáticas para a escolha do jardim suspenso e da sua forma, bem como a forma do terraço do segundo piso.

*L'orientation du soleil est opposée à celle de la vue. On est donc allé chercher le soleil par la disposition en décrochement sur le jardin suspendu. Pour couronner l'ensemble, un solarium dont les formes courbes résistent à la poussée des vents et apportent un élément architectural très riche. Le corps principal de la maison est limité par quatre mur semblables percés en ceinture tout autour, d'une fenêtre unique du système breveté L.C. et P.J. coulissante.*⁴³

Contudo, no meio de toda a vontade de interligar o quotidiano e a habitação com os meios naturais, Le Corbusier também tinha a intenção de implementar os mecanismos na arquitetura. De certa forma, os grandes vãos em vidro e a técnica construtivo com betão armado já fazia parte da vontade de atualizar a arquitetura, para a época da revolução industrial.

Assim, antes de escrever o seu livro *Precisions*, Le Corbusier elabora o *Vers une Architecture*, em 1923. O livro passa por palavras o seu entusiasmo, destes novos tempos.

*Si le problème de l'habitation, de l'appartement, était étudié comme un châssis, on verrait se transformer, s'améliorer rapidement nos maisons. Si les maisons étaient construites industriellement, en série, comme des châssis, on verrait surgir rapidement des formes inattendues, mais saines, défendables, et l'esthétique se formulerait avec une précision surprenante.*⁴⁴

⁴² CORBUSIER, Le - **Precisions On The Present State Of Architecture And City Planning**. p.44

⁴³ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929- 1934**. p.18

⁴⁴CORBUSIER, Le - **Vers une architecture**. p.105

Portanto, são estas as duas visões que o arquiteto tem para os novos tempos, por um lado a ambição de criar uma maior ligação com o exterior, de uma maneira natural e, por outro, a vontade de trazer a nova tecnologia e a máquina para a arquitetura.

Le Corbusier, vai levar o seu entusiasmo pela máquina, para a gestão climática e assim, começa o diálogo entre as suas propostas com meios passivos e ativos.

Centrosoyus: mur-neutralisant, respiration exacte

Agora, com o capítulo climático aberto, o arquiteto, com todas as possibilidades e inovações à sua disposição, inicia a exploração de modos de interagir com o clima. Agora, o arquiteto, tem a liberdade de a projetar com qualquer material e de qualquer maneira. No limite, é possível, prever vidro para toda a fachada.

Em 1928, Le Corbusier, começa o projeto do edifício *Centrosoyus*, em Moscovo. São conhecidas duas versões do projeto. A primeira, de 1928, utiliza as varandas tradicionais, semelhantes àquelas do *Palácio das Nações*.⁴⁵ No entanto, para o projeto final, desenhado entre 1929 e 1930, as varandas são substituídas por uma fachada em vidro. Como Jorge Cueco Torres referencia, Le Corbusier, quando decide repensar o projeto, na viagem de regresso de Moscovo, em 1928, escreve a seguinte carta ao seu associado.

Pierre, revoir tout le système fenêtres. On pourrait éventuellement tout vitrer et chauffer entre deux. Consulter G. Lyon et laboratoire.

*Etudier 1 chauffage à eau chaude p. Bureaux - 1 chauffage à air chaud par double cloison vitrée pour empêcher le froid.*⁴⁶

A fachada deste novo projeto consistia em duas camadas de vidro com ventilação no interior. Le Corbusier titula esta técnica de *mur-neutralisant*, porém, o princípio da técnica não é recente para o arquiteto. Na *Villa Schwob*, já nos apresentava um vão, de pé direito duplo, com duas camadas de vidro, com tubagens de água aquecida no seu interior.⁴⁷

Para este edifício, o *mur-neutralisant*, cumpria a mesma função, neutralizar, a temperatura interior da do exterior. Contudo, enquanto na *Villa Schwob*, as tubagens também faziam a tarefa de aquecimento, para Moscovo, a mesma tarefa, é feita pelo aquecimento ou arrefecimento, do ar, que circula no interior da dupla camada de vidro.

⁴⁵ TORRES CUECO, Jorge – **Le Corbusier: visiones de la técnica em cinco tempos** p. 133

⁴⁶ Ibidem

⁴⁷ SOUTHALL, R.; DIAZ, L.M. – **Le Corbusier's Cité de Refuge: historical & technological performance of the air exacte** p.1

Juntamente com o *mur-neutralisant*, Le Corbusier inclui outro mecanismo, a *respiration exact*, da autoria de Gustave Lyon. O engenheiro já teria utilizado esta técnica num anfiteatro em Paris.⁴⁸

O que Gustave Lyon e Le Corbusier propuseram para o edifício em Moscovo, baseava-se num sistema de renovação de ar. O ar era extraído do interior, de cada compartimento, e de seguida era purificado, ozonizado e condicionado para a temperatura de 18 graus Celcius. Para finalizar, o ar era outra vez bombeado para o interior, com a ajudada de ventoinhas.⁴⁹ O conjunto destes dois sistemas era descrito como *air exact*.

Ambos sistemas partilham várias parecenças com algumas das tecnologias da atualidade. A *respiration exact*, é similar a alguns dos sistemas AVAC, que serão estudados no próximo capítulo. Por outro lado, o *mur-neutralisant*, partilha, em parte, o mesmo princípio do vidro duplo.

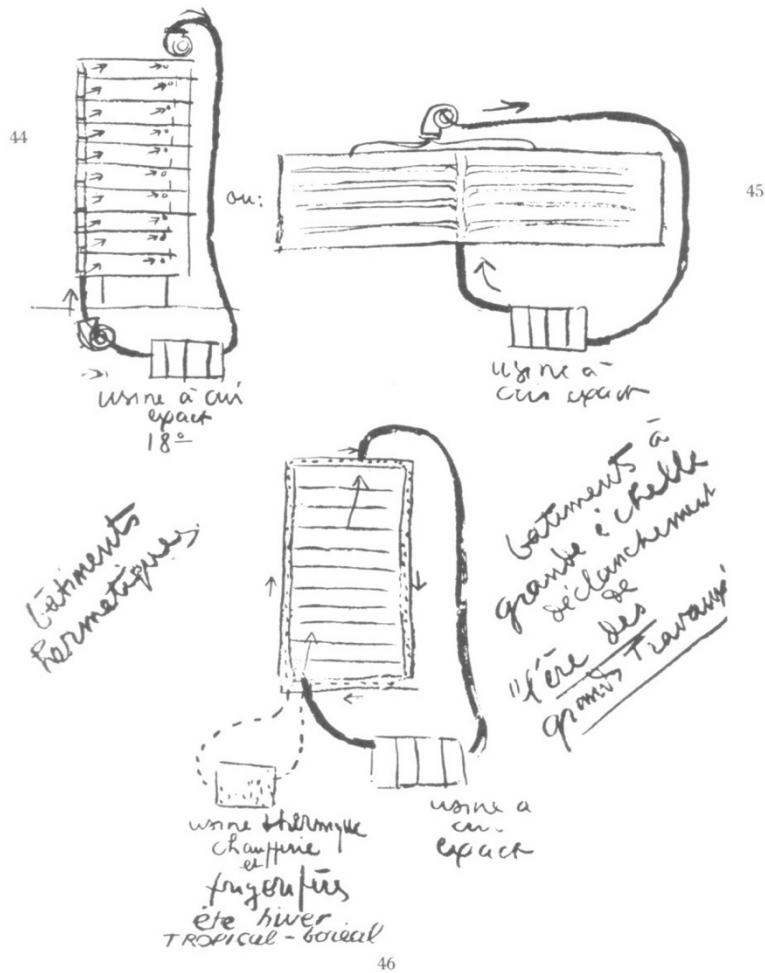
Esta proposta, para Moscovo, não mostra apenas, o engenho e a criatividade do arquiteto, mas sim parte da sua visão do que deveriam ser as preocupações de um arquiteto. Para Le Corbusier, um arquiteto deveria se preocupar não apenas com a estética, mas sim com muitos outros fatores, nomeadamente o clima, o conforto, a mobilidade, o urbanismo e muitos outros.

⁴⁸ Ibidem

⁴⁹ URBANO GUTIÉRREZ, Rosa – “**Pierre, revoir tout le système fenêtre**”: **Le Corbusier and the development of glazing and air-conditioning technology with the Mur Neutralisant (1928-1933)** p.111



Figura 35 - Fachada Sul do *Palais du Centrosoyus*.



44 usine à air exact/air conditioning plant // 45 ou/or // usine à air exact/air conditioning plant // 46 bâtiments hermétiques/airtight buildings // bâtiments à grande échelle, déclenchement de "l'ère des grands travaux"/big-scale buildings, beginning of "the era of big works" // usine thermique, chaufferie et frigorifère, été, hiver, tropical, boréal/heating and cooling plant, summer, winter, tropical, northern // usine à air exact/air conditioning plant

Figura 36 - Esquício do princípio do *mur-neutralisant* e da *respiration exacte*. Le Corbusier.

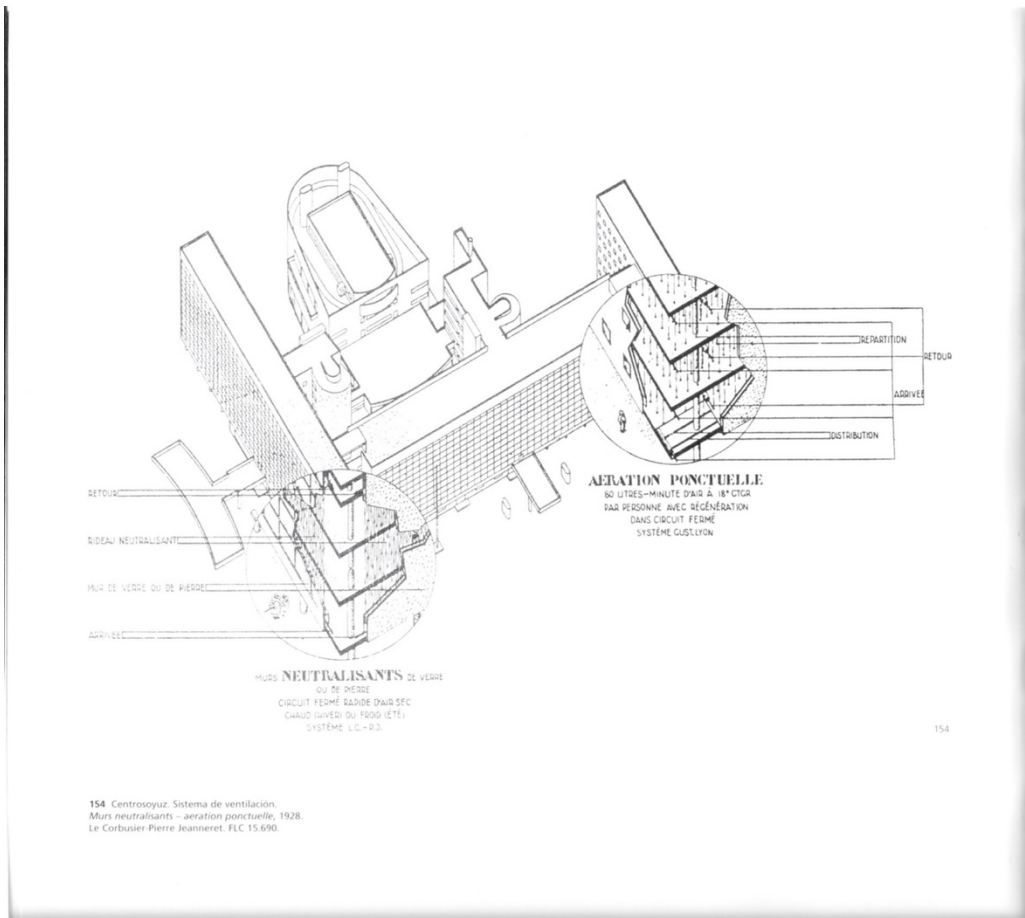


Figura 37 - Mur-neutralisant e respiration exacte, no Centrosoyuz.

Villa Baizeau: parasol e courant d'air

Numa época temporal sobreposta à construção do edifício em Moscovo, surgem alguns desenhos, de Le Corbusier, que apontam para uma abordagem distinta à de Moscovo. Na Tunísia, em 1928, projeta uma casa, com o que aparentam ser grandes preocupações climáticas, como em Moscovo. No entanto, com meios passivos, pondo de lado os meios mecânicos.

O espaço que é proposto na *Villa Baizeau*, revela parecenças com aquele da *Villa Savoye*. Um espaço aberto, arejado, com forte presença de vegetação nas zonas exteriores, porém, com considerações ao clima local, com proteção solar na cobertura e ênfase na ventilação.⁵⁰

Le problème consistait à fuire le soleil et à assurer la ventilation constante de la maison. La coupe a apporté ces diverses solutions: la maison porte un parasol qui projette de l'ombre sur les chambres. Depuis le rez-de-chanssée jusq'cn haut, les salles communiquent entre eles établissant um courant d'air constant. Ce projet n'a pas été exécuté.⁵¹

Ao comparar a *Villa Baizeau* e o edifício em Moscovo, são evidentes, as distintas abordagens que o arquiteto desenhava na mesma altura. Por um lado, em Moscovo, excluía janelas que poderiam abrir, com a finalidade de projetar uma fachada fixa. Na mesma fachada, utiliza o *mur-neutralisant* e chega ao limite de pensar que a ventilação poderia ser apenas feita por meios mecânicos, com o sistema de *respiration exact*, deixando os vãos apenas com a tarefa de iluminar. Como o próprio diz numa aula aberta em Buenos Aires:

"One day, this truth appears: a window is made for lighting, not for ventilation. To ventilate let us use ventilation devices; that is mechanics, physics."⁵²

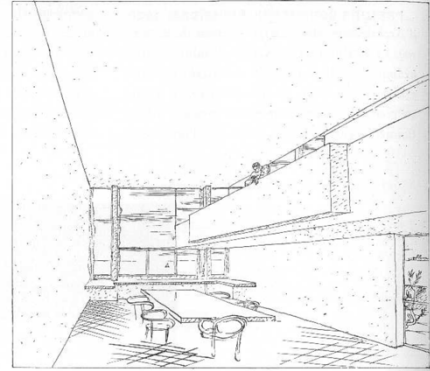
⁵⁰ A. BARBER, Daniel- **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning** p.39

⁵¹ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929.** p.176

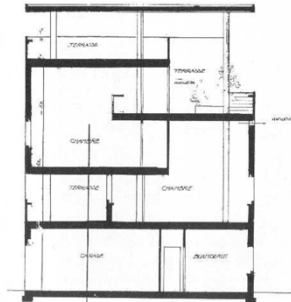
⁵² CORBUSIER, Le - **Precisions On The Present State Of Architecture And City Planning.** p.54

VILLA À CARTHAGE. — Le problème consistait à fuire le soleil et à assurer la ventilation constante de la maison. La coupe a apporté ces diverses solutions: la maison porte un parasol qui projette de l'ombre sur les chambres. Depuis le rez-de-chaussée jusqu'en haut, les salles communiquent entre elles établissant un courant d'air constant. Ce projet n'a pas été exécuté.

Deuxième projet (en cours d'exécution). La coupe n'a plus le même intérêt. Le principe de l'ossature portant les divers planchers est intéressant, c'est le même principe de plan libre qu'à Garches, mais par contre, seuls les poteaux dessinent à l'extérieur une enveloppe régulière et chaque étage s'exprime à l'intérieur de ces poteaux sous une forme exactement conforme aux fonctions, dessinant ainsi, sous forme de noyau, des formes très variées d'étage en étage et mises à l'abri du soleil par la projection des terrasses qui les entourent.



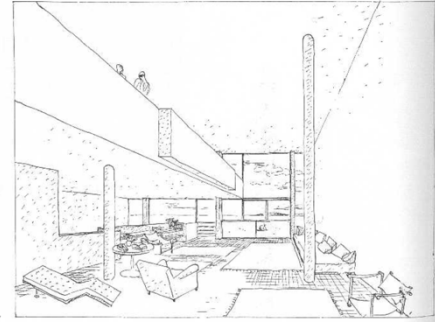
Living-room avec galerie du salon



Coupe des chambres



Coupe du salon



Le salon avec la galerie de la terrasse

176

Figura 38 - Cortes, *Villa Baizeau*. Oeuvre complète de 1910- 1929.



Figura 39 - *Villa Baizeau em construção.*

É importante referir que, este excerto refere-se à palestra do dia 5 de outubro de 1929, que já foi referenciada em páginas anteriores. Nesta aula aberta, o dilema entre as duas abordagens ao clima é evidente. Talvez sem ainda se aperceber, o arquiteto refere perspectivas distintas, no mesmo dia. Ao mesmo tempo que fala num solário na cobertura, num espaço com ar seco e elementos verdes, ambiciona que, a ventilação e a circulação de ar, sejam feitas apenas, por meios mecânicos.

Cité de Refuge: mur-neutralisant e respiration exacte

A ambição pela tecnologia continua e alguns anos mais tarde, em Paris, no ano de 1929, Le Corbusier, projeta, com as mesmas técnicas, a *Cité de Refuge*, um centro de abrigo para os mais desfavorecidos. Com estes dois sistemas, a trabalhar em conjunto, Le Corbusier, garante o mesmo conforto que garantia no edifício em Moscovo, mesmo com climas distintos. No entanto, o edifício acabou por não conseguir atingir os objetivos do arquiteto.⁵³

Em sua defesa, o projeto não foi seguido com o rigor que Le Corbusier pretendia. As paredes duplas não existiram, o que tornou impossível aplicar o *mur-neutralisant*. E a *respiration exact* foi bastante racionada, por questões orçamentais.⁵⁴ Estes acontecimentos, levaram ao evidente desconforto no edifício. Mais tarde, o arquiteto vai ser requisitado pela câmara, para projetar mais janelas, porque não cumpria as normas mínimas de saúde.

Como Daniel A. Barber referencia, Kenneth Frampton afirma que, por este momento, acontece o ponto de viragem na carreira do arquiteto. É aqui que termina o dilema entre os meios passivos e ativos, depois de tantas várias experiências com pouco sucesso.⁵⁵

⁵³ SOUTHALL, R.; DIAZ, L.M. – **Le Corbusier's Cité de Refuge: historical & technological performance of the air exacte** p.552

⁵⁴ Ibidem

⁵⁵ A. BARBER, Daniel – **Modern Architecture and Climate: Design Before Air-Conditioning** p.41

CITÉ DE REFUGE, PARIS 1932-33



Vue depuis la rue Cantagrel

Figura 40 - *Cité de Refuge*.

Immeuble Clarté: sombreamento e princípios do brise-soleil

Contudo, em anos intermédios do projeto da *Cité de Refuge*, Le Corbusier projeta o *Immeuble Clarté*, em 1930, para Genebra. Daniel A. Barber revê a importância deste projeto, como uma reviravolta no trajeto do arquiteto, dos sistemas ativos, para os passivos. O próprio Le Corbusier, num artigo que escreve para a revista *Techniques et Architecture*, em Janeiro de 1946, titulado de *Problèmes de L'Ensoleillement Le Brise Soleil*, onde aborda a importância do projeto para Genebra, categorizando-o como uma experiência em direção ao *brise-soleil*.⁵⁶ Daniel A. Barber, no seu livro, *Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning*, apresenta-nos uma cópia do artigo de 1946:

“Mais dans l'immeuble <Clarté> de Genève, baptisé ainsi par les usagers, nous avons amorcé instinctivement des travaux d'approch vers le brise-soleil.”⁵⁷

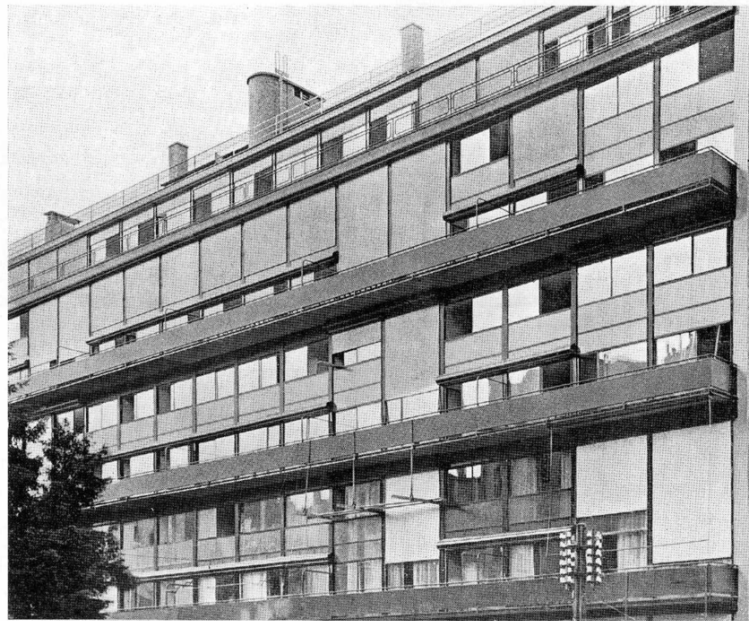
Depois de deixar a fachada desprotegida do sol e deixar toda a gestão climática para os mecanismos, como na *Cité de Refuge*, o arquiteto percebe que é necessário sombreamento. Para isto, projeta varandas avançadas, cortinas exteriores e toldos, todos protegem a fachada, dos raios solares de verão. Ao mesmo tempo, no inverno, com o sol a ângulos mais baixos com os toldos e as cortinas recolhidas, os raios solares conseguem fazer a sua entrada no espaço.

Porém, na temática do sombreamento e gestão climática, o arquiteto não fica por aqui. Partilhando o mesmo princípio das varandas, proteger o interior do sol à ângulos mais altos e deixar a entrada ao sol à ângulos mais baixos, Le Corbusier idealiza o *brise-soleil*.

⁵⁶ A. BARBER, Daniel – **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning** p.45

⁵⁷ Ibidem

IMMEUBLE «CLARTÉ», GENÈVE 1930-32



Une des façades

Figura 41 - Fachada Sul, *Immeuble Clarté*.

Lotissement destiné à la main-d'oeuvre auxiliaire: ventilação e brise-soleil

Para Daniel A. Barber, a primeira obra a se destacar pelo uso do brise-soleil é o *Lotissement destiné à la main-d'oeuvre auxiliaire*, em Barcelona, no ano de 1931.⁵⁸ Este loteamento é constituído por vários edifícios de residências geminadas de três pisos, com acessos independentes.

No piso da sala comum, onde a fachada está protegida pelo *brise-soleil*, o arquiteto desenha um recuo do espaço interior. Isto faz nascer um espaço exterior, coberto e protegido pelo *brise-soleil*. Este, é um espaço ideal para climas quentes como é o de Barcelona, protegido do sol ao mesmo tempo que consegue ser ventilado.

Este projeto, não é apenas notório pela inclusão do *brise-soleil*. Existem outros princípios bioclimáticos que são evidentes. Nomeadamente, todo o sistema de ventilação cruzada entre a fachada principal e a traseira, onde se situa a caixa de escadas. Esta intercepta todos os compartimentos da casa, até à cobertura. É este acesso vertical que torna possível a ventilação desde qualquer compartimento da casa. Isto mostra que Le Corbusier, não tinha, apenas, o *brise-soleil* no seu calendário bioclimático.

Em junção a todos este contexto bioclimático, o arquiteto traz, para este projeto, a vontade de interação com a natureza, quando propõe, vegetação na cobertura do edifício e plantar um árvore frontal, por cada habitação. Os ganhos térmicos, desta decisão, são bastante relevantes. A vegetação oferece-nos sombra no verão, e não obstrui o sol no inverno. O arquiteto entendia isto, daí várias das suas propostas contemplarem uma *cobertura jardim* e muitos dos seus projetos urbanos contavam com a grande presença de vegetação.

Consequentemente, estas moradias, faziam parte de um projeto urbano titulado de “UNE maison, UM arbre”, como o próprio nome indica, para cada moradia construída, estava presente uma árvore.

⁵⁸ A. BARBER, Daniel – **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning** p.3

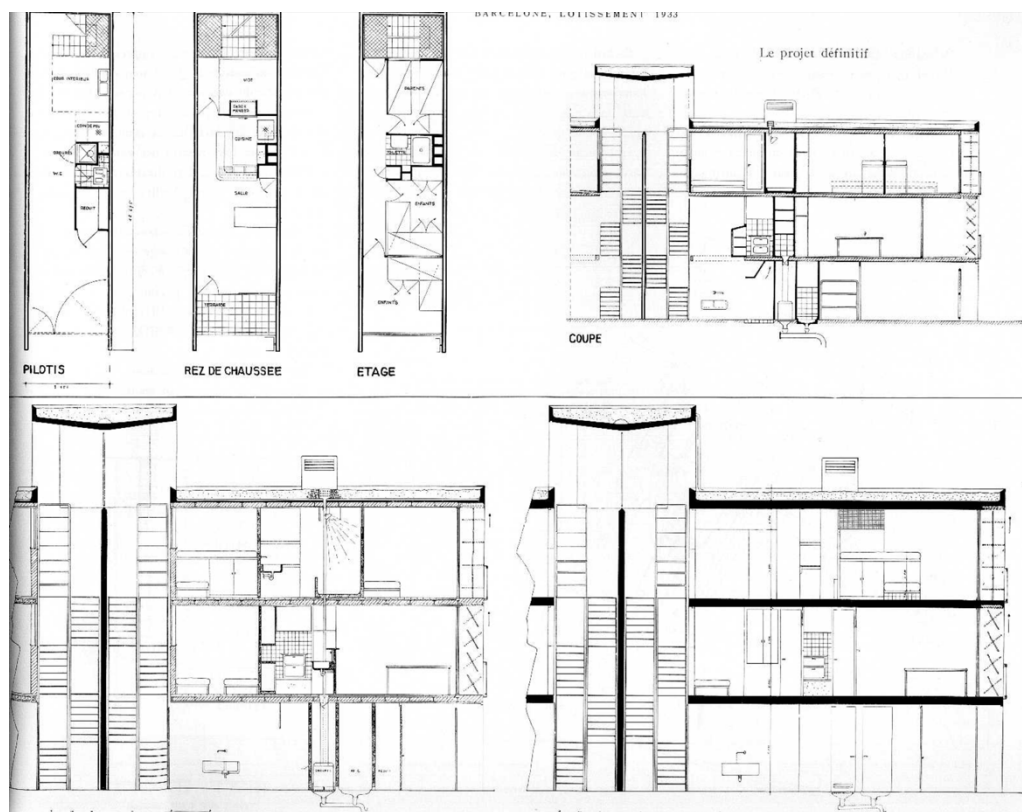


Figura 42 - Plantas e cortes. *Lotissement destiné à la main-d'oeuvre auxiliaire*. Oeuvre complète de 1929- 1934.

Lotissement Durand: brise-soleil

Numa época temporal sobreposta, ao projeto para Barcelona, entre 1933 e 1934, Le Corbusier desenha, para um terreno com 108 hectares, quatro edifícios onde cada um consegue alojar 300 famílias, também parte do mesmo projeto, faz parte um conjunto de pequenas casas pré-fabricadas.⁵⁹

Para as pequenas moradias, Le Corbusier dá grande ênfase à técnica de sombreamento, o *brise-soleil*, nas fachadas Sul e Oeste. Contudo, por detrás da quadricula do *brise-soleil*, estão presentes grandes vãos em vidro, desta maneira, é possível a transparência ao mesmo tempo que conseguimos a proteção dos raios solares.

As restantes fachadas são compostas por vidro sem qualquer proteção solar. Com isto, o que Le Corbusier desenha, são simples volumes, todos envidraçados, onde na fachada Sul e Oeste são acrescentados módulos retangulares.

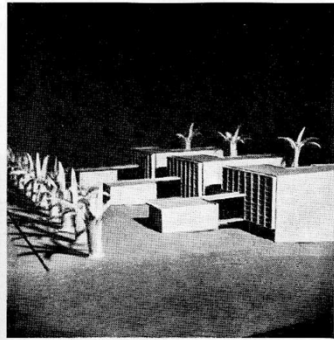
Maison Locative: brise-soleil

Esta técnica vai também moldar outro projeto, para a Argélia, a *Maison Locative*, de 1933. Para a fachada Sul e parte da Oeste, é proposta uma quadricula de *brise-soleil* que fica poucos centímetros distante do *pan-de-verre* e cobre toda a fachada.⁶⁰ A estrutura do *brise-soleil* funciona independentemente do edifício, porém apoia-se no mesmo intervalo de cada laje. Estas duas obras na Argélia vão marcar a forma do *brise-soleil*. É este primeiro desenho, que marca o princípio de uma evolução.

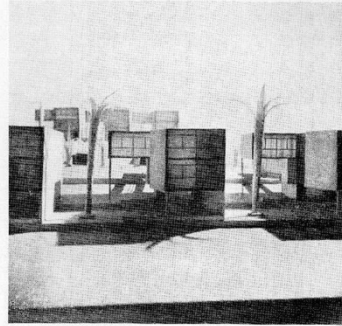
Para a fachada Norte, apenas é previsto um grande *pan-de-verre*, que proporciona a amplitude necessária para a sala comum, de pé direito duplo. Não são previstas varandas exteriores, porém, com a presença de guardas, é possível deduzir que parte deste envidraçado poderia ser aberto. Com a possibilidade de poder abrir, para o exterior, ambas as pontes do edifício, o interior do edifício consegue ventilar e atingir uma temperatura mais baixa.

⁵⁹ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. p.160

⁶⁰ A. BARBER, Daniel - **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning** p.45

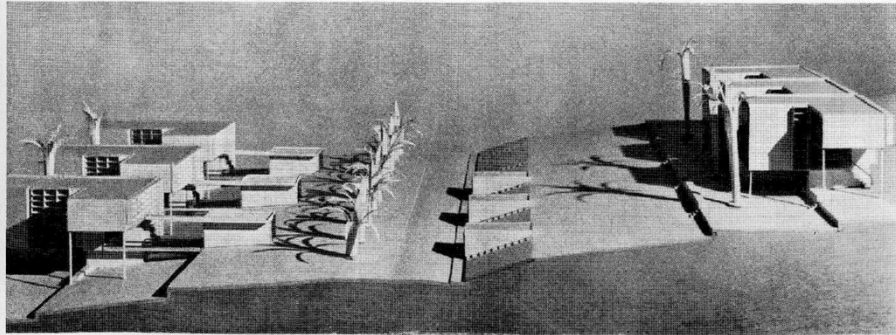


Facades sud et ouest. Les fenêtres sont musées du brise-soleil



Facades nord et est, en vitrage libre. Sous les pilotis, le jardin se prolonge dans l'ombre et la fraîcheur

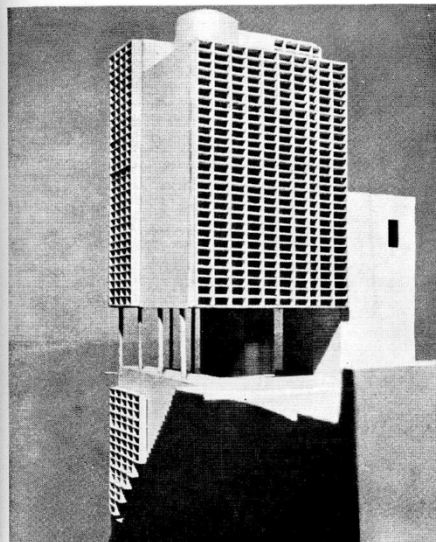
L'introduction en Afrique du Nord des «brise-soleil» constitue certainement un premier élément fondamental de l'architecture régionale nord-africaine



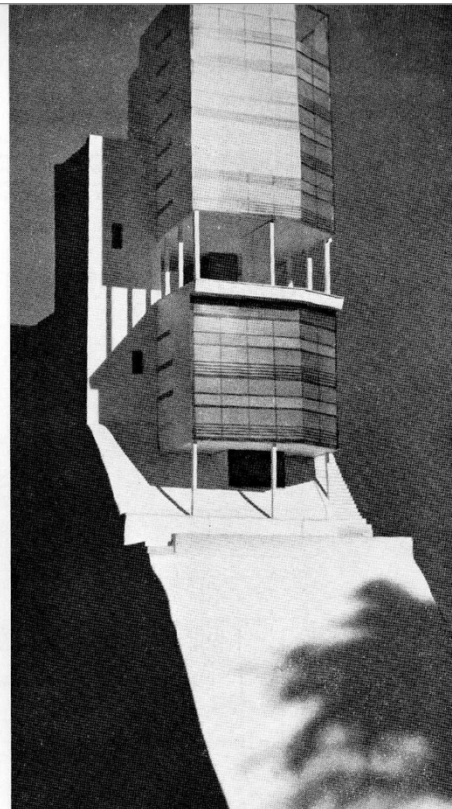
Ceintre au travers du boulevard

Figura 43 - Maqueta das casas pré-fabricadas, *Lotissement Durand*.

Une seconde particularité de cet immeuble est l'aménagement des «brise-soleil» sur les façades sud et ouest.



Côtés sud et ouest



Côtés nord et est

Figura 44 - Maqueta da *Maison locative*. Fachada Norte e Oeste.

Para a cota de entrada, Le Corbusier estipula a sua identidade quando abre um grande vão de entrada. Parte deste espaço pode ser relacionado com a Villa Savoye e a sua descrição na palestra de Buenos Aires: *Light, air flow under the house*.⁶¹ Contudo, os seus esboços também mostram como justificação, a vontade de não querer quebrar a continuidade da paisagem, porque por de trás do edifício, em direção Norte, está presente um grande vale.

⁶¹ CORBUSIER, Le - **Precisions On The Present State Of Architecture And City Planning**, p.42

Unité de Habitation: brise-soleil

Durante a Segunda Guerra Mundial, que teve início em 1939, não existe registo de obras construídas por Le Corbusier. No entanto, há registo de vários desenhos, maioritariamente urbanos. Em 1945, termina a guerra e começa um grande período do trabalho de Le Corbusier. Este período começa com o ícone da habitação coletiva, a *Unité d'Habitation*, em Marselha, no ano 1945. As novidades que traz, são acompanhadas pelos princípios já estabelecidos na *Villa Savoye*. Com relevância climática, Le Corbusier mostra-nos, de novo, a elevação do volume relativamente ao solo. Esta característica, igual à da *Villa Savoye*, torna possível a ventilação e a sombra, o que torna o espaço confortável. No entanto, a fachada é a verdadeira revolução para a arquitetura de Le Corbusier. A *brise-soleil* formaliza-se de maneira distinta aquela conhecida, mais detalhada e, ao mesmo tempo, compõe toda a fachada. Nesta obra, como no edifício para a *Quartier de la Marine*, para a Argélia, em 1938, o *brise-soleil* passa de ser apenas uma técnica de sombreamento, para um espaço habitado, para um loggia.⁶²

As técnicas de sombreamento também se tornam mais complexas. Agora, não existe apenas proteções horizontais, são previstas laminas verticais em partes da fachada.

Como Daniel A. Barber marca a evolução do *brise-soleil*, o próprio Le Corbusier também narra a cronologia da sua interação com sol e o clima, num artigo para a revista *Techniques et Architecture*, em Janeiro de 1946. Depois de uma conferencia no dia 2 de Julho de 1945, no Palais de Chaillot, sai o artigo, que ocupa quatro páginas e titula-se de “Problèmes de L'Ensoleillement – Le Brise Soleil”.⁶³

É neste curto artigo que Le Corbusier descreve toda a evolução do *brise-soleil*, juntamente com os seus princípios, os quais sucintamente descrevemos anteriormente e os quais Daniel A. Barber aponta como fundamentais para interpretar as obras de Le Corbusier.⁶⁴

⁶² MOREL CORRÉA, A.; ANZOLCH, R.; PEDROTTI, R. – **Brise-soleil: principios y transformación em la obra de Le Corbusier**

⁶³ A. BARBER, Daniel – **Modern Architecture and Climate Design Befor Air Conditioning** p.51

⁶⁴ Ibidem p.45



Figura 45 - *Unité de Habitation*.



Figura 46 - Fachada com *brise-soleil*, *Unité de Habitation*.

“Je vais vous montrer une suite de petites découvertes successives qui m’ont permis de devenir et de demeurer ami du soleil et d’apporter, même à certains pays comme le Brésil et sous le soleil tropical, des solutions qui sont les premières à laisser s’épanouir en toute liberté la vie moderne dans un pays où des conditions climatiques impératives avaient institué des traditions qui semblaient devoir s’imposer à jamais; d’ailleurs, le mot employé ici – le brise-soleil – stipule qu’on s’est rendu maître d’un élément.”⁶⁵

Como o próprio Le Corbuiser revela neste artigo, as condições climáticas e sobretudo o sol foram grandes influências para as suas obras. Se retrocedermos no tempo, para as obras iniciais do arquiteto, percebemos que os elementos climáticos moldaram as suas fachadas e os seus edifícios.

Com todos estes fatores é claro que, a esta data de 1946, o *brise-soleil* e as preocupações climáticas já faziam parte da identidade do autor. Os projetos do mesmo, sejam urbanísticos ou relevantes ao objeto arquitetónico eram fortemente influenciados pelo clima. Assim, partimos para o conjunto de obras de Le Corbusier, na Índia.

⁶⁵ A. BARBER, Daniel – **Modern Architecture and Climate: Design Before Air Conditioning** p.45

A arquitetura bioclimática de Le Corbusier na Índia: *brise-soleil, bassins d'eau, toit-bassin e ventilation*

Esta é a fase final da carreira de Le Corbusier, a mais refinada na temática deste trabalho. Para o arquiteto, as preocupações bioclimáticas são agora mais claras que nunca. Todas as intenções bioclimáticas e a experiência que, Le Corbusier, foi ganhando ao longo da sua carreira, resume-se em vários projetos fascinantes, na Índia.

É necessário entender que o clima indiano é extremo e por consequência, a arquitetura requer maior atenção. As necessidades de um clima tropical, como este, são bastante particulares, nomeadamente a grande ventilação, proteção solar e abrigo para as épocas chuvosas. Porém, é opção do arquiteto explorar ainda mais técnicas e levar a sua arquitetura a um expoente máximo, no que toca ao clima. A sua arquitetura não se destaca apenas pela qualidade bioclimática, mas sim, pela união da poesia espacial com as preocupações climáticas.

Este grande percurso, começou pelo planeamento da cidade de Chandigarh. Os arquitetos responsáveis pelo projeto urbano da capital eram, Le Corbusier, Pierre Jeanneret, Maxwell Fry e Jane Drew. Os arquitetos fazem a sua primeira visita em Fevereiro de 1951. Este era um projeto para uma nova capital, desenhada de raiz e que poderia acolher 500 000 habitantes.⁶⁶

Na primeira visita ao local, Le Corbusier entendeu que a principal condicionante seria o clima, como descreve posteriormente o livro *Oeuvre Complète*.

"Le Corbusier had a revelation about the manner of construction to be used while in his Bombay hotel at the end of his first visit. The sun and rain are two controlling factors in an architecture which must be both parasol and umbrella."⁶⁷

Com isto, é necessário analisar as obras do arquiteto, para entender qual o impacto desta decisão e quais são as técnicas que o mesmo utiliza. Perceber a maneira poética com que Le Corbusier, interliga a forma e a volumetria com a questão climática.

Não foi apenas pelo plano urbano que o arquiteto ficou responsável. Também em Chandigarh, o arquiteto ficou responsável por construir vários edifícios, porém, para

⁶⁶ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1946- 1952**. p. 112

⁶⁷ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1946- 1952**. p. 114

o contexto deste trabalho iremos apenas analisar dois, o Palácio da Assembleia e o Palácio da Justiça.

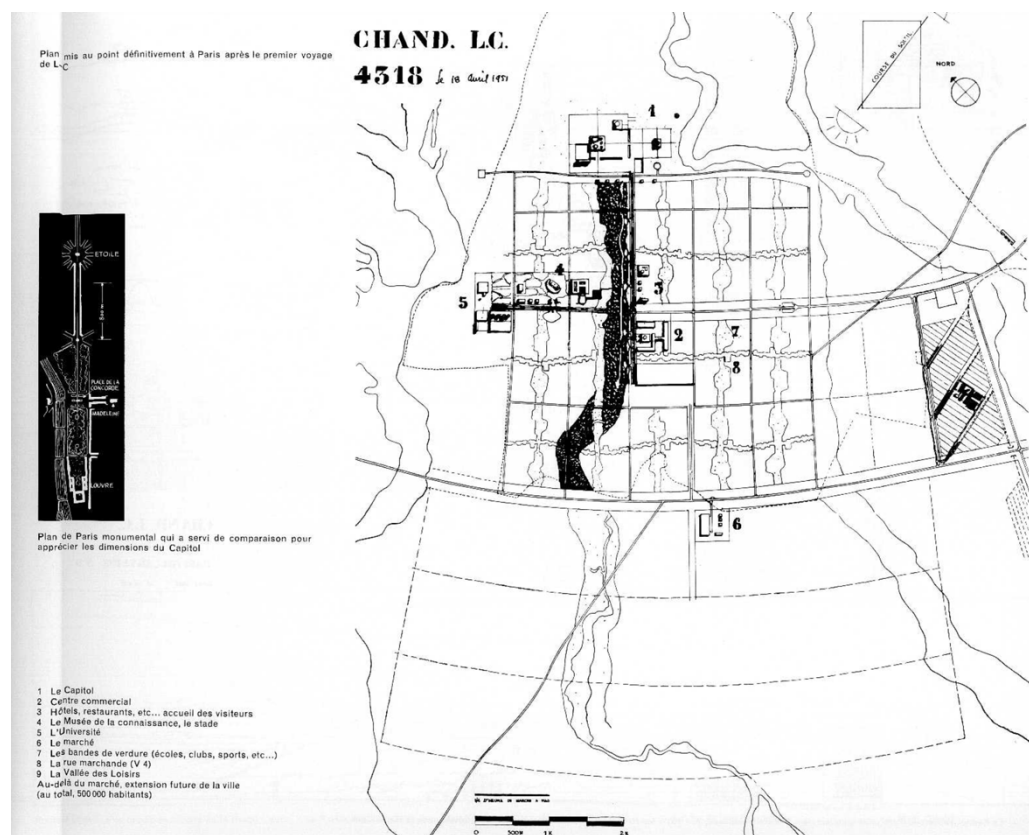


Figura 47 - Plano urbano de Chandigarh. Oeuvre complète de 1946- 1952.

Palais de l'Assemblée Parliament Parlamentsgebäude
 Croquis d'album où apparaît la solution

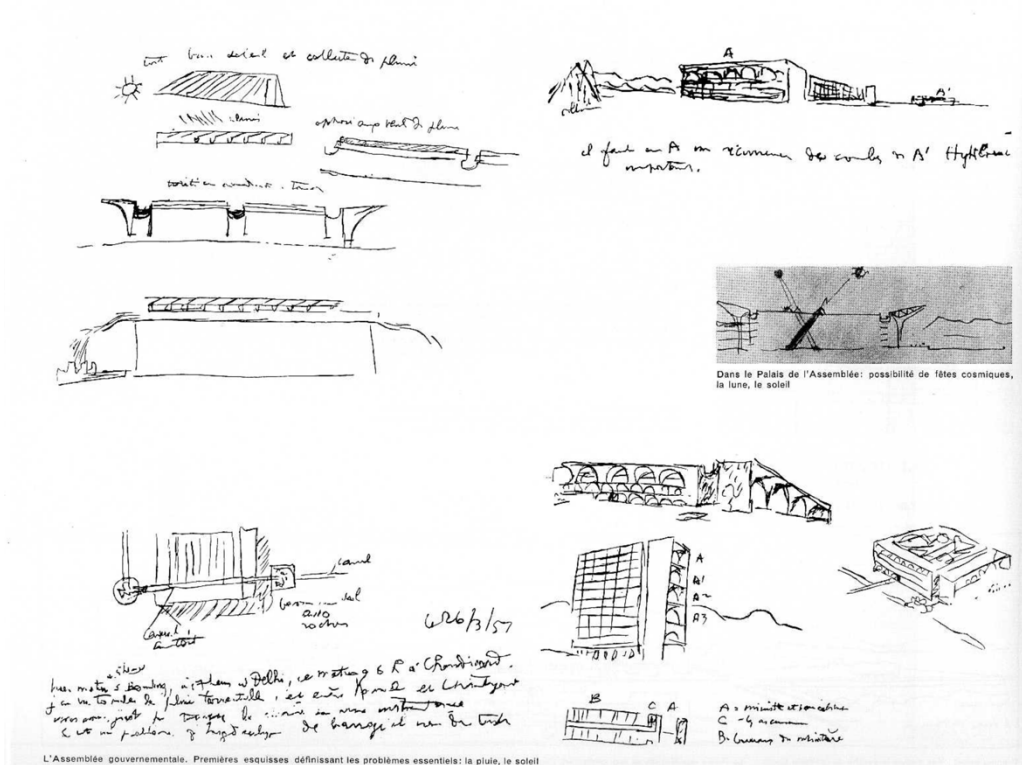


Figura 48 - Esquços para o *Palais de l'Assemblée*. Oeuvre complète de 1946-1952.

Palácio da Assembleia: brise-soleil, bassins d'eau e ventilation

O *Palácio da Assembleia*, como o próprio nome indicia, seria o edifício para alojar a assembleia e serviços relacionados. O edifício é composto pela assembleia, escritórios e um grande espaço de circulação. O projeto passou por várias fases, porém, a fase final foi definida pela última visita de Le Corbusier a Chandigarh, em 1956.⁶⁸

Até esta altura, a sua técnica de sombreamento, o *brise-soleil*, já viajava pelo mundo e estava a ser explorada por vários arquitetos. Contudo, para os projetos na Índia, Le Corbusier leva esta técnica ao seu expoente máximo.

Primeiramente, no que toca a orientação do edifício e a sua relação com o sol, torna-se claro que Le Corbusier intencionava a mínima incidência solar no interior. Para isto, no grande átrio do edifício, não existe a entrada de luz direta. Contudo, entre a distância da cobertura deste espaço principal e as restantes, existe abertura para alguma luz indireta. Esta distância também permitem a circulação de ar. Desta maneira, Le Corbusier prevê um espaço confortável, num clima tropical, com o mínimo de luz indireta e com ventilação. As fachadas também são alvo deste cuidado bioclimático, são meticulosamente desenhadas. Na fachada Oeste, durante o inverno, o sol rasante pode entrar no interior, contudo, durante poucas horas, possivelmente as horas necessárias. Na fachada Sul, ao nascer do sol, também existe a entrada de alguns raios.

Desta maneira Le Corbusier consegue controlar a luz, os raios solares, e a ventilação. A única parte do edifício que é previsto com climatização mecânica é o volume que aloja a assembleia, contudo, até para esta ventilação o arquiteto põe o seu engenho em prática.

“The air-conditioning, necessary here, works under the best conditions since the cool air is introduced from above to below, several meters above the deputies and visitors, and will descend by gravity to breathing level while the warm air will rise and be exhausted by mechanical apparatus installed in the frame-work of the hall.”⁶⁹

⁶⁸ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1952- 1957**. p. 94

⁶⁹ Ibidem



Figura 49 - Luz indireta no interior do *Palais de l'Assemblée*.



Figura 50 - Fachada Sul, *Palais de l'Assemblée*.

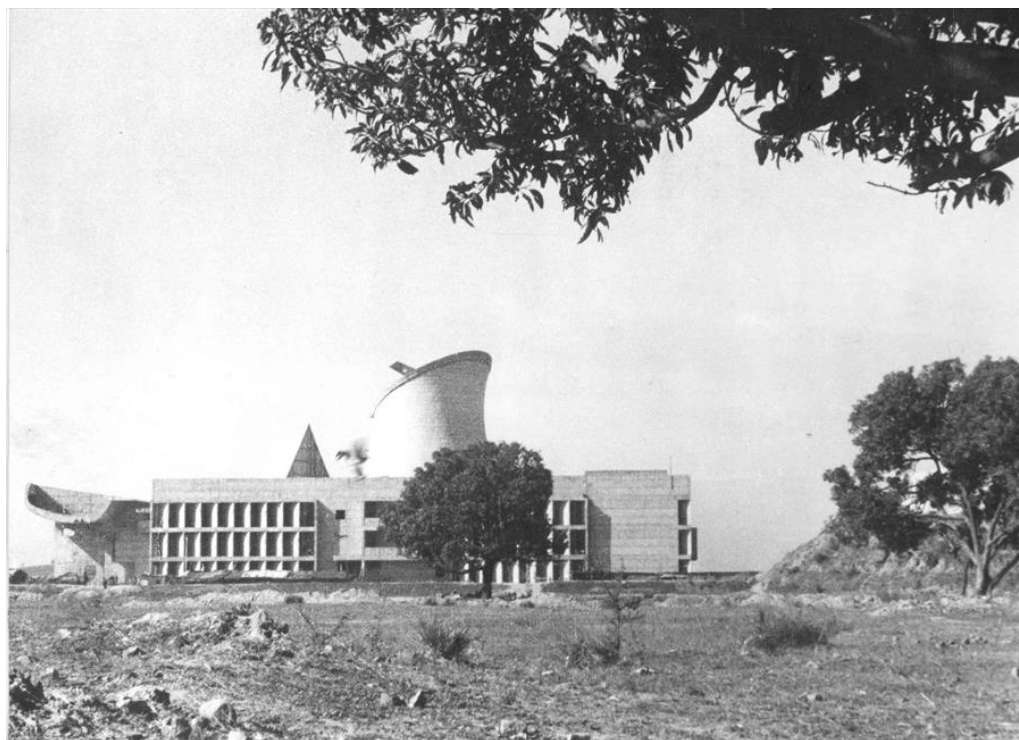


Figura 51 - Fachada Este, *Palais de l'Assemblée*.

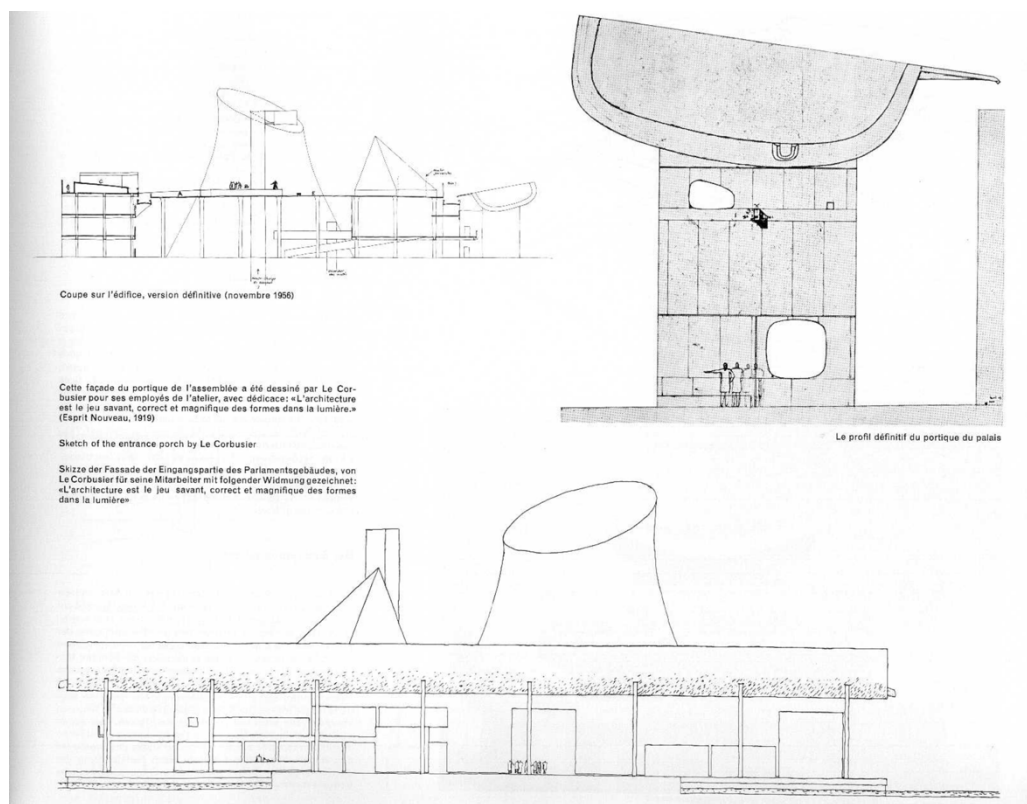


Figura 52 - Corte e Alçados do *Palais de l'Assemblée*. Oeuvre complète de 1952- 1957.

Para os primeiros esquiços, para o projeto da Assembleia, Le Corbusier mostra a sua intenção de controlar o percurso da água. Depois do estudo, na versão final do projeto, em 1956, a grande estrutura da entrada faz o trabalho de recolher e canalizar a água das chuvas até a um espelho de água na cota da entrada.

É certo, que esta decisão, é proveniente de uma escolha sensorial, como os desenhos demonstram, o reflexo do edifício era um dos seus principais objetivos. Contudo, os impactos no conforto térmico são notáveis. A presença deste elemento natural faz com que o ar arrefeça, acontece arrefecimento evaporativo. *Frank Lloyd Wright*, na *Sr. Price House*, num clima deserto, também projetou uma fonte no hall de entrada.

Palácio da Justiça: brise-soleil, bassins d'eau e ventilation

Também para Chandigarh, Le Corbusier projeta o *Palácio da Justiça*, em 1956. O edifício revela as mesmas preocupações climáticas que o anterior, porém, um maior engenho em contornar o problema do clima tropical.

Como o Palácio da Assembleia, Le Corbusier utiliza, de maneira semelhante, a presença da água, na entrada do edifício. Da mesma maneira que, no Palácio da Assembleia, o arquiteto desenha a cobertura para recolher toda a água da chuva, para este trabalho, a cobertura também cumpre a mesma função e de seguida distribui para o reservatório na cota de entrada.

No que toca ao resto da forma do edifício, é de remarcar que o arquiteto abriga os volumes programáticos debaixo de uma grande estrutura em betão armado, que também serve para recolher e distribuir a água até ao solo, ao mesmo tempo que protege do sol. Desta maneira, é garantido que o interior não tem incidência solar, o que por sua vez faz com que os materiais não aqueçam e não transmitam calor para o interior, da mesma maneira que o espaço entre a cobertura e os volumes garantem a circulação de ar e o arrefecimento dos materiais.

Esta grande estrutura também abriga todos os corredores que fazem o acesso aos volumes. Com isto, estes espaços de circulação, também se traduzem em espaços ventilados e protegidos do sol, o que é o ideal para um clima como este.

Contudo, o edifício não fica dependente desta grande estrutura. Na fachada Norte e Sul destaca-se o uso do *brise-soleil*, de diferentes maneiras. Na fachada Norte, o desenho da técnica, resume-se a forma geométricas, quadrangulares e retangulares, com o mesmo princípio do desenho inicial nas obras da Argélia. Contudo, na fachada Sul, a técnica assume-se como uma *loggia*, dando lugar a várias varandas. Nestas varandas destacam-se as guardas opacas, que também cumprem a sua função de sombreamento.



Figura 53 - Fachada Norte, *Haute Cour*.



Figura 54 - Fachada Norte, *Haute Cour*.

Palais des Filateurs: brise-soleil, bassins d'eau, toit-bassin e ventilation

Ainda na Índia, Le Corbusier desenha o *Palais des Filateurs*, em 1951, em Ahmedabad, a 2500 quilómetros da linha do equador. É uma obra que interpreta e extrai o melhor do clima, através do desenho. O edifício incorpora os serviços administrativos de uma associação de proprietários de fábricas de algodão, ao mesmo tempo que é utilizado para eventos sociais.

Primeiramente, há que destacar que o desenho do *brise-soleil*, em ambas as fachadas, é definido pelos ventos predominantes e pelo posicionamento solar.⁷⁰ Com isto, torna-se claro, que a fachada Este, orientada para o rio, consiste numa maior abertura para tornar possível uma maior ventilação do espaço. Aqui, o *brise-soleil* preenche toda a fachada, é a imagem do edifício e em simultâneo, torna-o eficiente. No entanto, este *brise-soleil*, que assume todo o protagonismo da fachada, esconde a estrutura de técnica *Domi-no*, com pilotis cilíndricos, que suportam as lajes de todo o edifício. Desta vez, o *brise-soleil* traz uma novidade. Ao contrário da *Unité*, onde se assume como uma *loggia*, aqui, parte desta estrutura assume-se como vegetação. Torna-se claro que Le Corbusier não tencionava apenas fazer o sombreamento através do betão armado, mas sim, com a ajuda da natureza.

Numa análise climática, também há que destacar a planta livre. Neste caso, não pela sua ideia modernista, mas sim pelos impactos positivos que esta tem no conforto térmico no interior do edifício. Juntamente com a falta de janelas ou outras divisórias com o exterior, a planta livre não causa qualquer condicionante à ventilação passiva do edifício, aliás até a ajuda.

Como as formas dos compartimentos interiores não são condicionados por nenhum aspecto estrutural, no limite da criatividade do arquiteto, existem compartimentos interiores que não se prolongam até à fachada, outros consistem em formas orgânicas. As formas e a disposição das mesmas, faz surgir espaços intermédios, arejados, protegidos pelo *brise-soleil* e pela cobertura. Desta maneira, juntamente com a ampla fachada em *brise*, juntam-se as condições para o ar conseguir fluir pelo edifício.

⁷⁰ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1952- 1957**. p.144



Figura 55 - Interior do *Palais des Filateurs*.

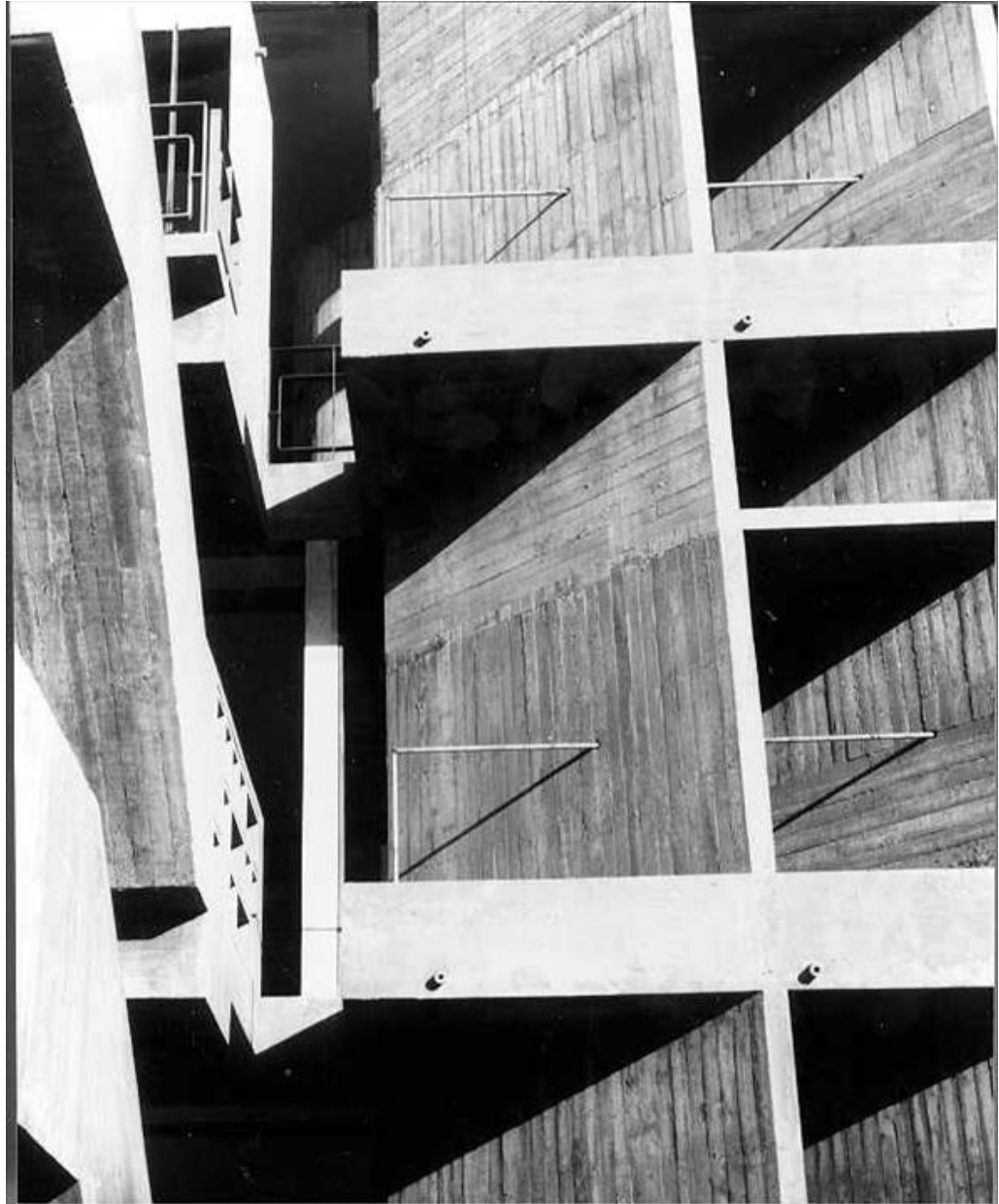


Figura 56 - Fachada com incidência solar e brise-soleil. *Palais des Filateurs*.

As paredes interiores, que fazem a divisão do programa, ficam recuadas da fachada. Isto faz com que, a incidência solar das paredes, seja mínima. E mesmo que estas conservem alguma energia solar, com as restantes horas em sombra e com as brisas que passam no interior, as paredes acabam por arrefecer.

A narrativa leva-nos até à cobertura, uma assinatura característica do arquiteto Le Corbusier. Este espaço é utilizado para convívios, e contempla uma novidade bioclimática, para o portfólio do arquiteto. A cobertura do auditório, que está no piso inferior, ganha relevo e destaca-se na cobertura principal do edifício. Esta concavidade oferece duas aberturas de luz, indireta, para o interior do auditório, ao mesmo tempo, tem como função armazenar água. A água retida nesta concavidade, protege o edifício da incidência solar, o que faz com que o interior do auditório não atinja temperaturas tão elevadas. A água é um novo elemento nas obras do arquiteto, demonstra a diversificação das técnicas bioclimáticas.

“The ceiling. The hall is indirectly lighted by reflections from the curved ceiling, which in turn is kept cool by two gardens and a water basin on the roof.”⁷¹

Qualquer uma destas obras, mostram a dedicação total, do arquiteto e da sua arquitetura, ao clima. O que no início da sua carreira, era um assunto secundário, agora passa a ser o fator determinante no desenho. Esta mudança de paradigma nas obras de Le Corbusier pode estar relacionada com vários fatores. Primeiramente, as suas experiências iniciais com as técnicas ativas, podem ter exigido com que o arquiteto se apercebesse da importância do clima, para o conforto dos espaços. Segundo, o clima extremo indiano, pode ter levado o arquiteto a entender que seria necessária uma maior atenção às técnicas bioclimáticas, porque se não fosse o caso, o interior do edifício, poderia ser desconfortável. E finalmente as convívios do arquiteto, nomeadamente, as suas estadias pela América do Sul e África.

⁷¹ CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1946- 1952.** p.157

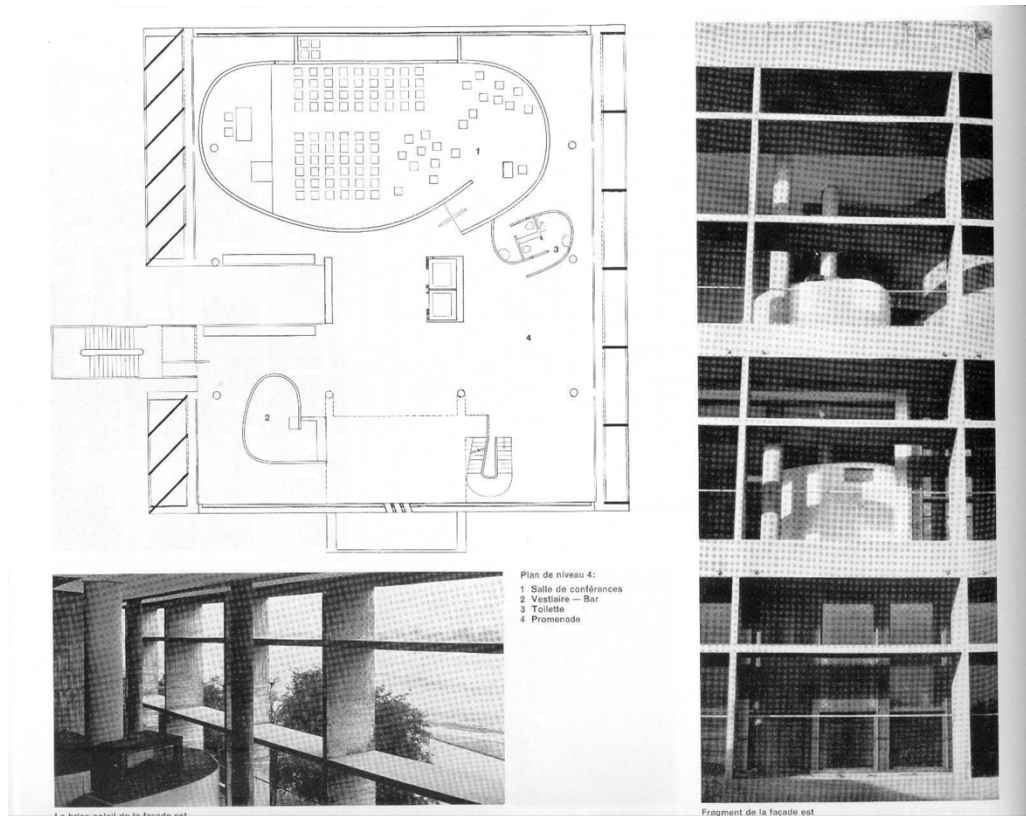


Figura 57 - Planta 2 piso, *Palais des Filateurs*. Oeuvre complète de 1952- 1957

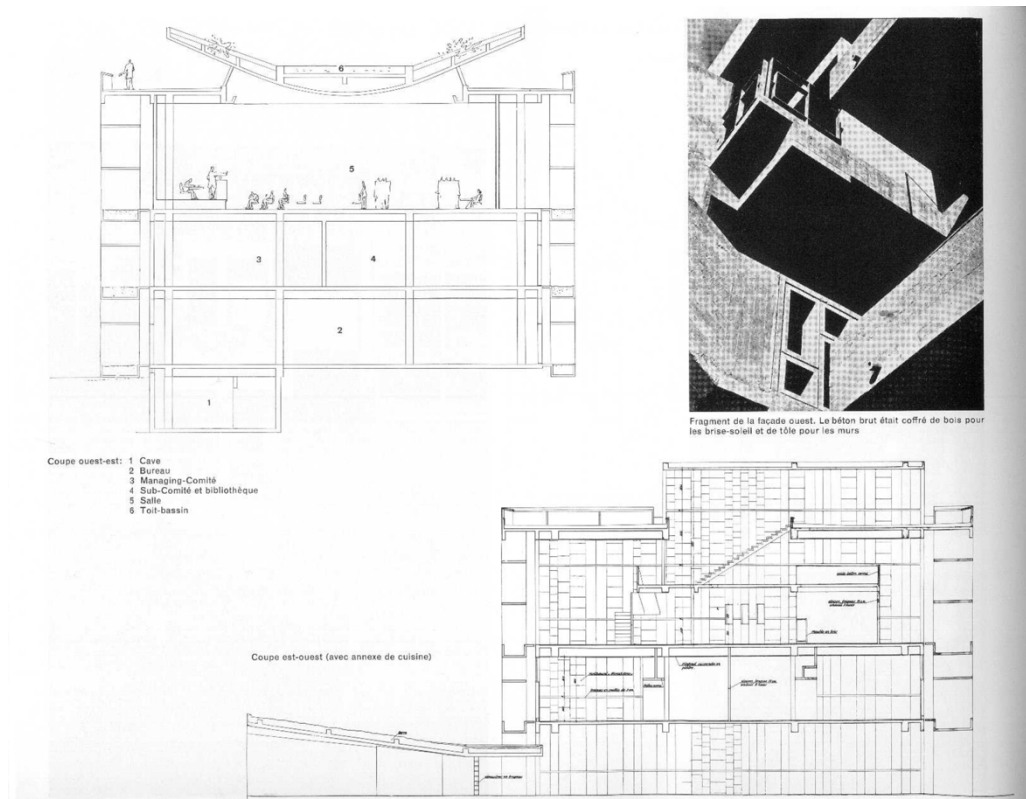


Figura 58 - Corte, *Palais des Filateurs*. Oeuvre complète de 1952- 1957

Grille Climatique

Le Corbusier não mostra o seu interesse pelo clima apenas nas suas construções. Desde 1950 até a sua morte, elabora a *Grille Climatique*. Este trabalho tem como objetivo ajudar arquitetos a entender as necessidades de cada clima, exemplificando soluções arquitetónicas, para atingir as desejadas condições climatéricas.⁷²

A grelha rege-se por quatro colunas horizontais e três verticais. As horizontais referem-se às características climáticas, a temperatura do ar, a humidade relativa, o vento e a intensidade dos raios solares. As horizontais titulam-se de *Donnes Climatiques*, *Corrections a apporter* e por fim *Procedes Architecturaux*, todas divididas pelos meses do ano. A primeira coluna vertical destina-se aos dados climáticos para cada mês do ano, a segunda para as correções necessárias a fazer as condições climáticas para ser confortável e, por fim, a terceira destina-se a abordar o desenho arquitetónico necessário, para conseguir alcançar as correções climáticas. Com a grelha, juntam-se os desenhos arquitetónicos, que servem como exemplo do desenho necessário para gerir o clima e o sol.

É, desta maneira, que se fecha a cronologia climática profissional do arquiteto. Le Corbusier não foi, nem será, o único a pensar na condicionante e oportunidade, que o clima nos oferece. Passou-nos uma mensagem da possibilidade de desenhar uma arquitetura em harmonia com o clima. Le Corbusier mostrou-nos, o quão fundamental é estudar os aspetos climáticos enquanto desenhamos espaço. E é por isto que o seu legado é tão importante, tanto para este trabalho, como para o mundo da arquitetura.

“A western architect has spent his life learning his profession; to be sure he must apply his profession in India, but he must adapt it to antagonistic requirements: comfort is coolness, it is the current of air, it is the shade. An yet the sun must penetrate at the proper time, in the favorable seasons.”⁷³

⁷² CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1952- 1957**. p. 109

⁷³ Ibidem p.113

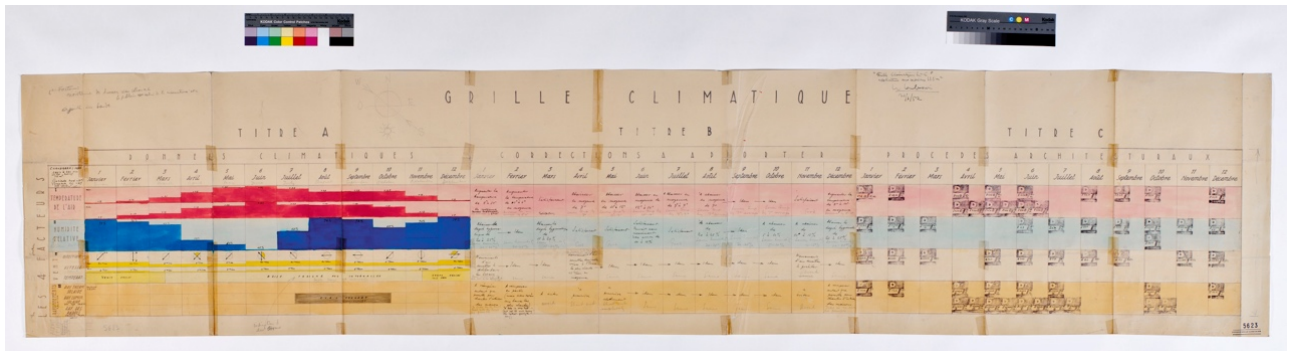


Figura 59 - Grille Climatique.

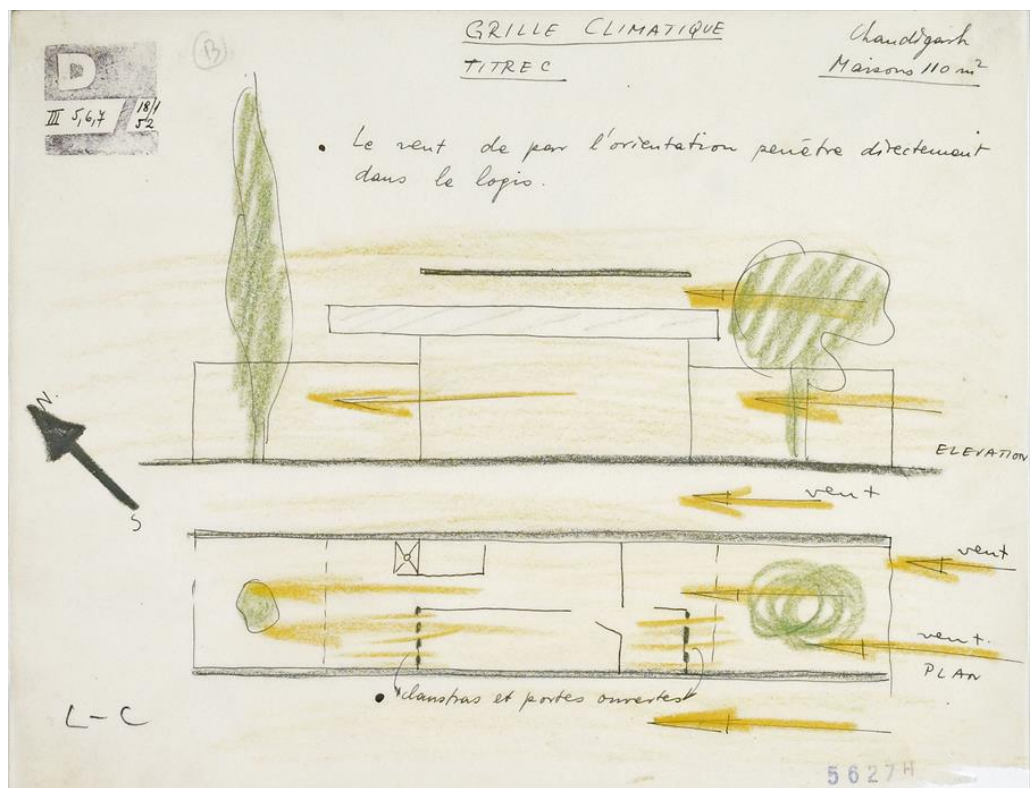


Figura 60 - Um dos desenhos da *Grille Climatique*, relevante aos ventos predominantes.

3_AVAC: A CLIMATIZAÇÃO MECÂNICA DE ESPAÇOS INTERIORES



Keep Cool
AT THE
Rivoli

We have invested over \$100,000 in a refrigerating cooling plant to keep you cool and comfortable when the world is sweltering. Unseen, unheard, resistless are the huge motors with a combined pulling power of 221 horses—representing but a small part of the marvellous equipment which absolutely assures a temperature that is just right. Delightfully refreshing days and evenings all summer at

The **RIVOLI THEATRE**
BROADWAY at 49th STREET.
THE HOME OF *Paramount Pictures*

Figura 61 - Promoção da climatização do Teatro Rivoli.

Neste capítulo, o objetivo é relacionar a arquitetura com os sistemas mecânicos. Perceber a implementação, destes mecanismos, na arquitetura e a evolução desta mesma relação.

Na era pré-AVAC, estudamos a época modernista, porque, antes da extensa comercialização dos sistemas AVAC, o movimento moderno foi aquele que trouxe grandes inovações passivas, de gestão climática. A época modernista também relacionou, fortemente, o objeto arquitetónico com o clima, o desenho moderno tinha como objetivo reger-se pelo clima.

Em todo o movimento modernista, o arquiteto *Le Corbusier*, mostrou-nos as maneiras em que a arquitetura moderna pode interagir com o clima, sem recorrer à máquina. Contudo, também foi claro, no capítulo anterior, que o mesmo arquiteto que produziu uma verdadeira arquitetura bioclimática, no seu trajeto na Índia, também revelou grande engenho na utilização de mecanismos para o controlo térmico nos seus espaços modernos, com a criação do sistema do *mur-neutralisant*.

Os mecanismos de climatização não se restringiram à arquitetura moderna. Pelo contrário, os sistemas mecânicos tinham como objetivo serem implementados em qualquer arquitetura. Na época da segunda revolução industrial, pouco antes do movimento modernista começar, surgiram os primeiros mecanismos, com o objetivo que gerir termicamente o interior dos edifícios.

Com isto, nesta cronologia da interação entre a climatização do espaço e a arquitetura, iremos abordar as duas intenções de climatização, o aquecimento e o arrefecimento.

Com o objetivo de subir a temperatura, já estavam implementadas várias soluções. A lareira já fazia parte destas soluções desde os tempos primitivos. Os Romanos utilizavam o sistema hipocausto, onde o ar debaixo do chão e entre as paredes era aquecido.⁷⁴ Portanto, é notório que os sistemas de aquecimento já estavam implementados, desde muito cedo e pouco foram alterados.

⁷⁴ MCPARLAND, Laura C. [et al.] - How the Romans got themselves into hot water: temperatures and fuel types used in firing a hypocaust. **Environmental Archaeology** Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.1179/146141009x12481709928445>>.

No que concerne à necessidade de baixar a temperatura, não existiam soluções tão eficazes, tão pouco as mecânicas. Como meios passivos, era utilizada a ventilação passiva e o arrefecimento evaporativo. Existem registos que, no Egipto Antigo, eram utilizadas várias formas de arrefecimento evaporativo. Os meios mecânicos, para o arrefecimento, introduzem-se no início do século XIX. Desta maneira, este subcapítulo irá narrar a chegada desta tecnologia, bem como a sua implementação e relação com a arquitetura.

Experiências de climatização e implementação na arquitetura

Os sistemas de climatização começaram a fazer a sua interação com a arquitetura, no século XIX. Os primeiros mecanismos apenas conseguiam fazer a ventilação do espaço e começaram por aparecer em espaços públicos ou industriais. Contudo, como explica *Salvatore Basile*, as técnicas passivas estiveram disponíveis desde cedo.

*In the nineteenth century, summer heat was a problem that the vast majority of architects hadn't quite learned how to handle; "ventilation" was the fanciest antidote they could offer. And when it came to theaters, ventilation was practically nonexistent.*⁷⁵

Alguns anos mais tarde, surgem, também, sistemas de ventilação que faziam a passagem do ar por gelo, desta maneira era possível diminuir a temperatura. Era nos teatros onde estes sistemas estavam mais presentes, devido a uma grande concentração de pessoas, num só espaço. Aliás, como *Salvatore Basile*, exprime no seu livro, *Cool: How Air Conditioning Changed Everything*, o *Madison Square Theater*, foi um dos primeiros sítios a incluir este sistema e revelou-se uma atração por toda a cidade, mesmo que a peça de teatro não fosse a razão principal do grande número de visitas.⁷⁶

Em 1902, Willis Carrier, projeta um mecanismo para baixar a humidade no ar, quando trabalha para a empresa Buffalo Forge Company, o primeiro modelo de ar-condicionado. A Sackett & Wilhelms, uma empresa de litografia, enfrentava problemas de alta percentagem de humidade, as impressões eram produzidas com defeitos. Este sistema de ar-condicionado, de Carrier, insuflava o ar do interior, a partir de tubagens, com a ajuda de ventoinhas, que nesta altura já eram comuns e a empresa para que o mesmo trabalhava, já as produzia. De seguida, o ar passava por bobinas que, no seu interior, continham água fria. Desta maneira, através de condensação, a humidade presente no ar ficava depositada nas tubagens. O ar resultante tinha uma temperatura mais baixa.⁷⁷

⁷⁵ BASILE, Salvatore - **Cool: How Air Conditioning Changed Everything** p.6

⁷⁶ Ibidem p.8

⁷⁷ Ibidem p.90

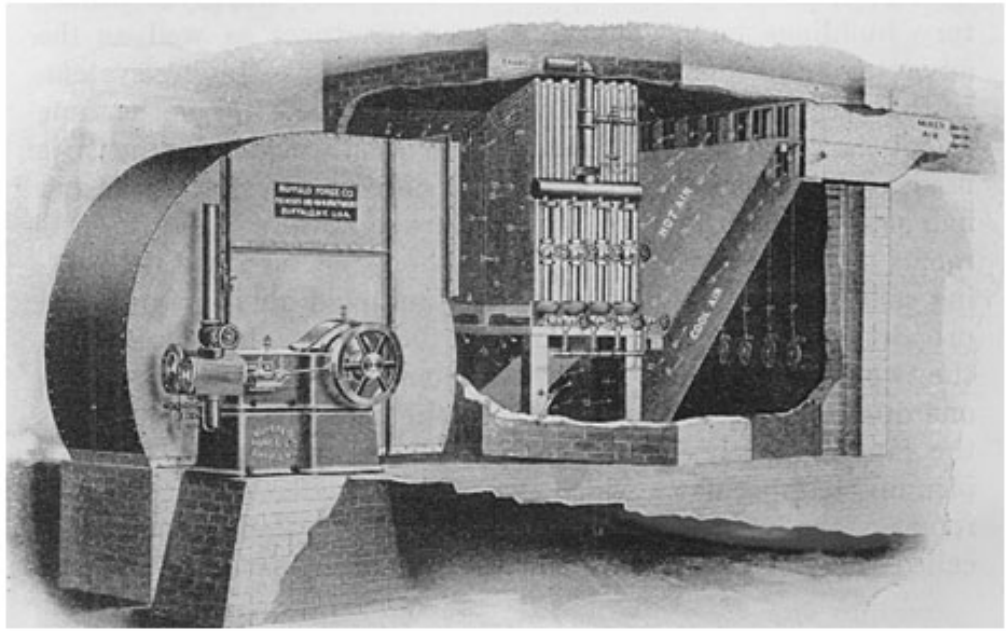


Figura 62 - O primeiro sistema de ar-condicionado de Willis Carrier, para a empresa de Litografia, em 1902.

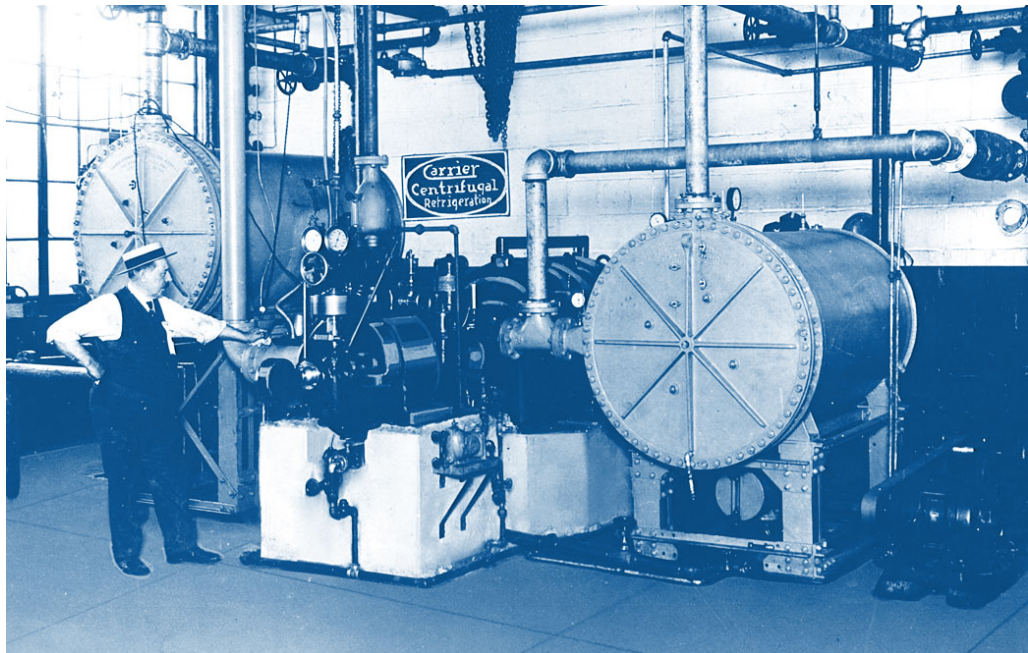


Figura 63 - Primeiro Chiller da autoria de Willis Carrier, em 1922.

Em suma, durante alguns anos, existiram várias implementações em teatros e cinemas, muitas destas ainda assentavam em ventilação com passagem pelo gelo. Contudo, em 1922, Willis Carrier adiciona mais uma invenção à temática da climatização. A novidade de Carrier era o *Chiller* ou *Centrifugal Compressor* que revolucionou o mercado, graças à sua inovação, baixo custo e eficiência.⁷⁸

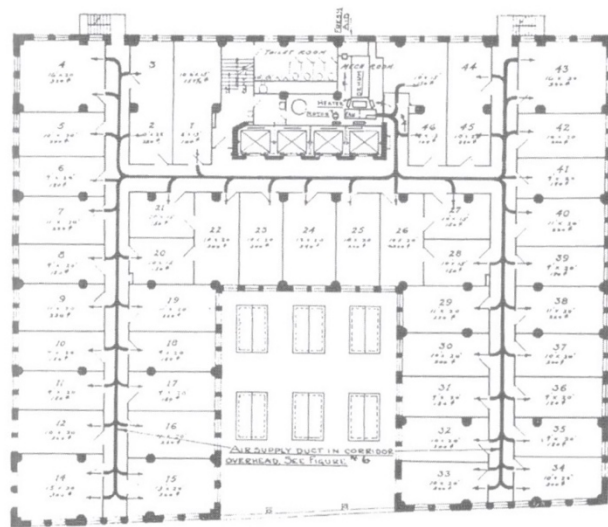
Em 1925, Carrier implementa no Teatro de Rivoli, em Nova Iorque, um sistema de ar-condicionado que trazia várias novidades, nomeadamente, a circulação de ar e a fonte de refrigeração. Desta vez, o ar seria aspirado pela parte inferior dos bancos e injetado pela parte superior do espaço, como é perceptível pela figura abaixo. Este método provou-se mais eficaz e confortável para os espectadores. Nos anos seguintes, Carrier recebe várias encomendas e agora, os cinemas, que pouco lucravam no verão, poderiam faturar durante todo o ano a um ritmo superior.

Estes primeiros testes de ar-condicionado, revelaram um grande contraste entre a arquitetura e os mecanismos. Mesmo que a maioria destas máquinas ficasse à parte das áreas visíveis ao público, continuavam a fazer parte do objeto arquitetónico. Vários destes projetos, seriam feitos por engenheiros e acabavam por ser adições no objeto arquitetónico.

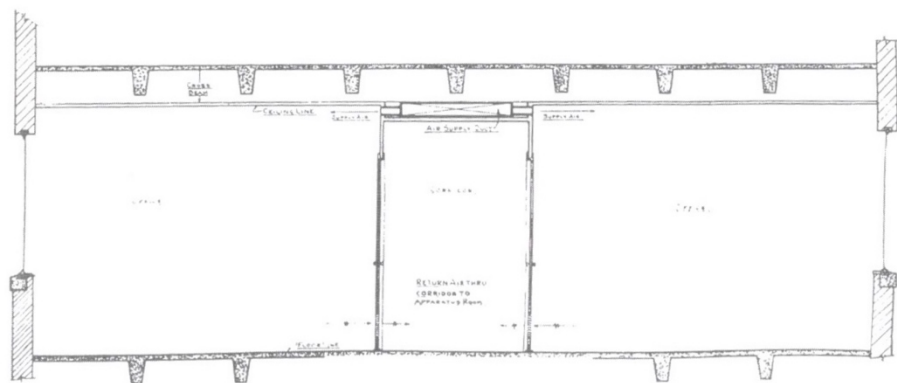
A fase de experimentação e novidade abrandou, porém continuam a surgir evoluções e novidades. Contudo, já existia um consenso de acompanhar um projeto de um grande edifício com um sistema de ar-condicionado. Segundo Reyner Banham, foi em 1928, em Texas, que foi construído um dos primeiros edifícios com um sistema de ar-condicionado. O *Milam Building*, da autoria de George Willis, contemplava uma unidade de refrigeração, na cave. Esta alimentava, no piso rés-do-chão, uma máquina de ar-condicionado que distribuía, por condutas, ar refrescado. Nos restantes pisos, de escritórios, apenas existia uma máquina por cada dois pisos e estava camuflada num compartimento atrás da caixa de elevadores.⁷⁹ O corte, na figura inferior, mostra-nos a maneira de como o ar era aspirado e expirado.

⁷⁸ BASILE, Salvatore - **Cool: How Air Conditioning Changed** Everything p.117

⁷⁹ BANHAM, Reyner - **The Architecture of the Well-tempered Environment** p.178



Milam Building, San Antonio, Texas, 1928, by George Willis; facing page: exterior view; left: plan of typical floor and below, section of standard duct and corridor arrangement.



179

Figura 64 - Projeto de ar-condicionado para o *Milam Building*. Planta e corte com condutas e teto falso.

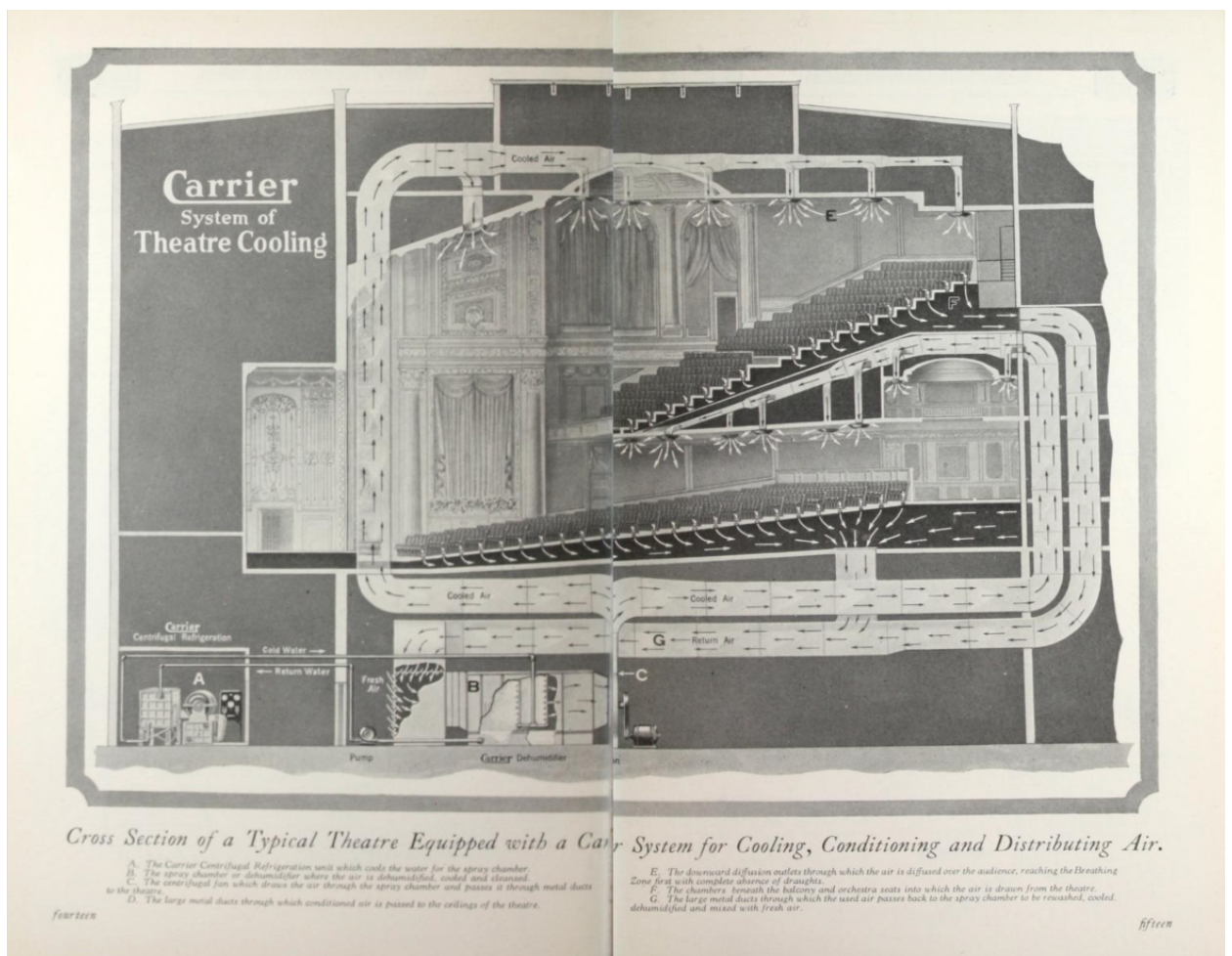


Figura 65 - Proposta de Willis Carrier, de um sistema de ar-condicionado para um teatro, com um novo princípio de circulação de ar.

Até agora, apenas foram abordados sistemas de grandes dimensões, que necessitavam de grandes condutas distribuídas pelo edifício, para funcionar. Mesmo que o *Chiller* de Carrier, tenha tornado estes sistemas mais económicos e de uma dimensão mais reduzida, ainda era comum utilizar grandes condutas que tinham um grande impacto na arquitetura. Assim, em 1932, a Throne company, lança um pequeno ar-condicionado, que seria instalado na divisória, entre o interior e o exterior, poderia ser numa janela ou até numa parede. Nos anos seguintes, surgem outras opções semelhantes de outras marcas. Contudo, estes exemplos não tiveram grande sucesso.⁸⁰

Estas duas propostas ambicionavam uma diferente interação com o objeto arquitetónico, não só, pela sua ideia de simplicidade perante o utilizador, mas também volumetricamente exerciam outra relação visual.

Mike Paulen, no seu artigo *Sleeping soundly on summer nights*, publicado em Maio de 1999 no ASHRAE Journal, referência o destaque, que as revistas *House+Home* de 1952 e 1954 deram aos sistemas de ar condicionado. É necessário referir que, no início dos anos 50, o ar condicionado estava a ser introduzido no contexto doméstico, como afirma Banham.⁸¹

É na edição de Junho de 1952, que a revista *House+Home*, nos informa sobre várias questões de climatização desta altura. Como se refere a revista *House+Home*, em 1952, estavam disponíveis no mercado várias possibilidades de climatização. Estavam disponíveis sistemas que combinavam o aquecimento e a refrigeração e outros que só faziam refrigeração. Estas eram as soluções que acompanhavam um complexo sistema de condutas, por toda a casa. O artigo também nos mostra uma novidade que revela grandes perspectivas de mercado, para os anos seguintes. As unidades singulares de ar-condicionado, projetadas para a divisão entre o interior e exterior, que já tinham sido introduzidas no mercado, contudo, sem sucesso. Outra unidade individual são as máquinas de arrefecimento evaporativo, que conseguem baixar as temperaturas através

⁸⁰ PAUKEN, Mike - **Sleeping Soundly on Summer Nights** p.43

⁸¹ BANHAM, Reyner - **The Architecture of the Well-tempered Environment** p.183

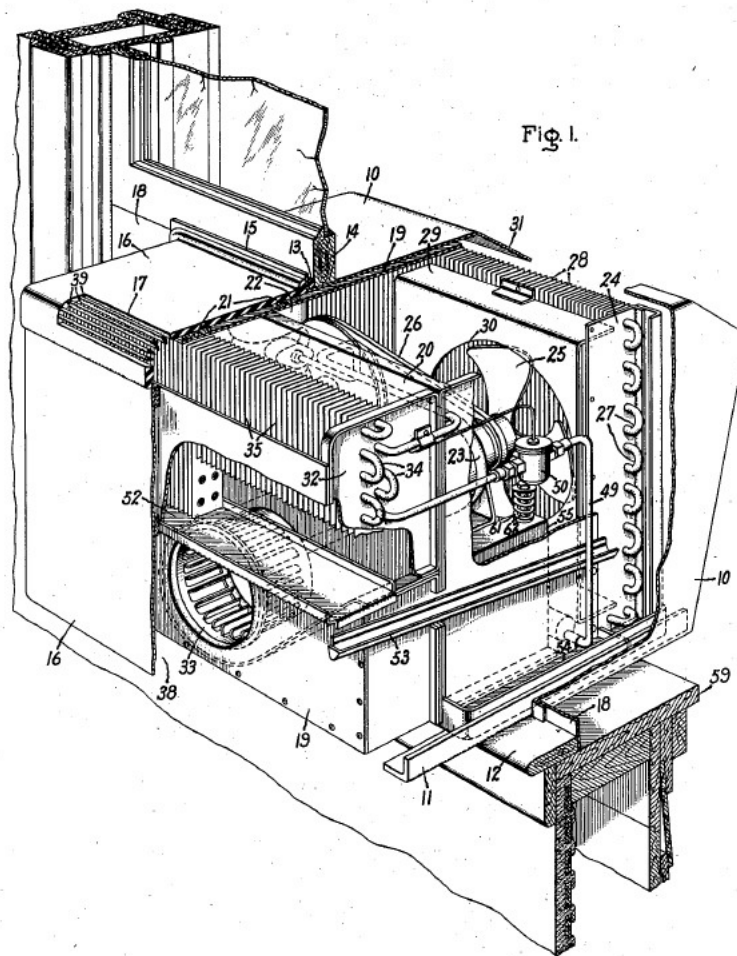
da evaporação, adicionando humidade no ar. Desta maneira, o grande mercado de climatização preparava-se para entrar no ambiente doméstico.

Jan. 6, 1942.

A. B. HUBBARD
AIR COOLING APPARATUS
Filed July 11, 1940

2,269,205

2 Sheets-Sheet 1



Inventor:
Albert B. Hubbard,

Figura 66 - Unidade de ar-condicionado de janela da General Electric, de 1940.

De seguida, são apresentados exemplos, construídos, que retratam a implementação destes sistemas. Os exemplos apresentados, eram sempre acompanhados de justificações, para cortar custos ou aumentar a eficiência. Cada um tem a sua essência, ou a recolha do ar é feita apenas por um sítio (sem condutas), ou feito por tubagens no chão ou até utilizar o teto falso para a recolha de ar. A insuflação do ar, já condicionado, é sempre feita por condutos pela parte superior. Isto mostra-nos as várias maneiras de como a adaptação dos sistemas de climatização e ar-condicionado, na arquitetura, já estavam a ser exploradas.⁸²

Agora, que já possuímos a narrativa histórica destes sistemas de ar-condicionado e climatização, entendemos que, a vontade de ocultação dos sistemas, é predominante. Desde os primeiros testes, onde as máquinas ficavam num compartimento técnico, até à implementação no ramo residencial. No livro *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Banham refere esta abordagem no capítulo *Concealed Power*, que, na minha interpretação, se traduz na ocultação dos mecanismos. O autor remete-nos ao primeiro indício do teto falso, que, surgiu em 1906, em Nova Iorque. No *Kuhn and Loeb Bank*, foi instalado um sistema de ventilação da marca A.M. Feldman's. As condutas de ventilação alimentavam a sala principal, no entanto, estavam camufladas no hall dos elevadores, com vidro fosco.⁸³

Contudo, no ramo industrial, não existia esta necessidade de camuflar os mecanismos. Banham também explora e disserta sobre esta maneira de implementar mecanismos, na arquitetura, no seu capítulo *Exposed Power*. O autor demonstra vários exemplos e abre uma extensa discussão à qual este trabalho não se estende. Contudo, é importante referenciar a essência do capítulo:

⁸² **house+home** (Jun. 1954) p.113

⁸³ BANHAM, Reyner – **The Architecture of the Well-tempered Environment** p.196



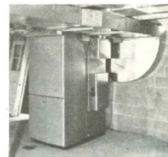
Bryant's combination heater and cooler.



Servel's gas fired combination unit.



Carrier's unit includes gas heater.



Automatic Firing Corp. combination.

Heating and cooling equipment inside one jacket or shell

Since it combines heating and cooling in one the trade calls this a "combination unit."

One blower and one set of ducts handle both warm and cold air. The smaller combination units usually occupy less floor space than separate systems. Duct design may give a more efficient air flow and there may be shorter interconnecting ducts between heater and cooler than when air must travel through two separate units.

The system can be changed from winter to summer operation or back by a single switch. One thermostat controls indoor temperature the year round.

Combination units are manufactured by several firms (see photographs at left and below). One type uses either gas or oil for heating or cooling, the others are electric. All of these use a water cooled condenser, recirculating cooling water through a cooling tower or throwing it away.

Separate cooling units

Separate cooling and heating units do not differ basically from combination units in design or method of operation.

Most manufacturers now building such equipment were in the heating business before they made air conditioners. It was logical to build or buy a cooler, matched in size with their heaters, which could be installed separately.

The fact that a separate cooling unit can be added to almost any warm air heater or furnace means that any heater manufacturer using a central, warm air system with duct distribution can also offer summer cooling by matching his equipment with refrigerated coolers. The two units must be engineered to work together.

Such equipment lets builders offer their house buyers a choice of taking air condi-

tioning with the house or adding it later.

To owners of existing houses, the separate cooling unit is a great asset. It can be put near the present heater and tied into existing ductwork (if there is space for the unit and if ducts are large enough).

Another phase of flexibility is that the separate unit may possibly take less floor space than the combination equipment, as the cooling section may be put on top of the heater or even in the attic. Units may be side by side, or one in front of the other, whichever solves the space problem.

To offset their greater flexibility, separate units may need more servicing than certain combination units. Some equipment needs to have minor adjustments in fall and spring when it is changed from heating to cooling or back. Separate controls

are often required. Installation costs may be slightly more because two pieces of equipment need to be received, installed and tied together with ductwork.

Can separate residential coolers be linked to any forced air system?

No—not unless the heating ducts were sized very liberally. In general, it takes more cold air to bring a room down to a comfortable 75° on a very hot day than to keep it comfortable in winter. Builders who doubt this well accepted engineering fact and use ducts that are too small will discover their cooling system won't operate efficiently.

Another reason for caution is that the blower in the heating system may be too small to push the greater amount of summer air through the ducts.



Chrysler unit with Trion filter.



York cooler matched with gas heater.



US Air Conditioning Co.



Westinghouse cooler (left)

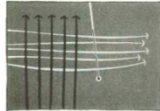


Coleman's new heater-cooler.



GE matched pair for heating and cooling.

Figura 67 - Modelos de ar-condicionado no mercado, em 1952. Revista *House+Home* Junho de 1952.



air conditioning

News about duct systems designed for air conditioning

No matter how expensive or efficient a cooling unit is, it won't work well unless the distribution system is right

A distribution system for year round air conditioning should be designed by a specialist because cooling problems are different from heating problems. A duct system that works well for winter heat may not work well for summer cooling.

While precise rules cannot be given that apply to all types of houses in all parts of the country, the following general summary should be helpful both to architects and to builders.

▶ Ducts for cooling should, in most cases, be larger than heating ducts. Reason: fear of creating a cold spot near outlet grilles prohibits the use of air sufficiently colder than 75° to do a proper job with the same air quantity that is enough for heating.

▶ Several firms now have "small pipe" duct systems designed for both heating and cooling which use 3½" or 4" metal ducts. (See page 116.) Higher velocities are used in summer than in winter.

▶ Fresh air should be supplied to the unit through an outside air duct. This is especially important for tightly sealed houses, otherwise no outside air is added to the house except through occasional opening of doors or loosely fitting windows.

▶ Additional grilles should be provided for living areas or any rooms that may be crowded. Extra air can then be stolen from bedrooms (by temporarily shutting off registers there) to provide increased cooling for parties. Later the extra grilles can be closed to permit the system to function normally again.

▶ Kitchens should have exhaust fans to carry off cooking heat and food odors. Baths should be vented to the outside or have small exhaust fans. There should be no return from kitchen or baths.

▶ Supply ducts for cooling must be insulated if they pass through hot attics or other

warm spaces. However, return ducts do not need insulation.

▶ Equipment noise transmitted through ducts is a serious problem. Supply ducts can be lined with soundproofing; short, straight runs of return duct may require acoustical lining or a baffle.

▶ The entire distribution system is related to equipment room location. In most in-

stances a central location permits economy because of short duct runs. However in many houses machine rooms are located near kitchen or garage to keep noises away from the living area. In some sprawling houses, there are two or even three equipment rooms and several zonal duct systems.

On these pages four systems are illustrated that typify different designs.

1. SUSPENDED CEILING PLENUM

LOCATION: Houston, Tex.

KOETTER & THARP, Architects

ATLAS AIR CONDITIONING CO., Air conditioning

Surrounding trees combine with roof overhangs to shield this partial two-story house from the sun. Roof insulation and double glazed windows serve as added protection from heat or cold.

Problem: Provide year round air conditioning without extensive ducts winding through a 4,000 sq. ft. house and without sacrificing either the heating or cooling performance.

Solution: Heating and cooling are supplied by means of a distribution system which fans out and up to all rooms. Air blows into rooms from high wall grilles

and from ceiling diffusers. Air is returned to the air conditioner through baseboard grilles on interior walls. The equipment room is located off the drive-through, with an outside entrance.

That's fine for cooling; what about heating?

The engineers planned for continuous air circulation in winter to prevent cold

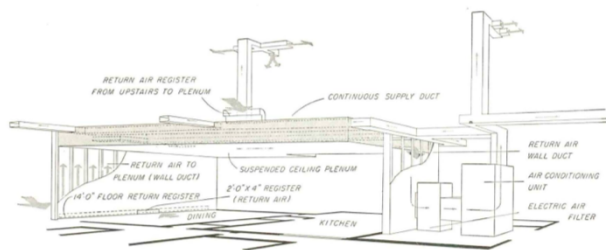


Figura 68 - Exemplo de implementação do sistema de ar-condicionado, 1952. Revista *House+Home* Junho de 1952.

“The tradition that had demanded that an electric lamp bulb be manifestly seen as an electric lamp had not died, indeed it was revived by Alison and Peter Smithson who made a manifesto-type point of a naked bulb in an office interior which they designed in 1952 for an engineer friend. So one need hardly be surprised at the fact that later work in one of the first buildings complexes in which effective concealment of services was first achieved-the United Nations headquarters-should promptly reverse the trend.”⁸⁴

Um dos excelentes exemplos onde os todos os mecanismos ficam visíveis, incluído os de climatização, surge em 1970, em Paris. O *edifício Pompidou*, projetado por Richard Rogers e Renzo Piano, destaca-se pela comunicação visual de todos os mecanismos necessários, para preencher os requisitos do final do século XX. A rede de águas, a estrutura elétrica, os mecanismos e tubagens de climatização ficam todas aparentes, no interior e no exterior.⁸⁵

Aqui, interpretamos um edifício que não aparenta ter quaisquer preocupações bioclimáticas e assume-se como um objeto arquitetónico, climaticamente apenas controlado pela máquina.

⁸⁴ Ibidem p.196

⁸⁵ http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-architecture-Centre-Pompidou/comment_ca_fonctionne/p4.htm

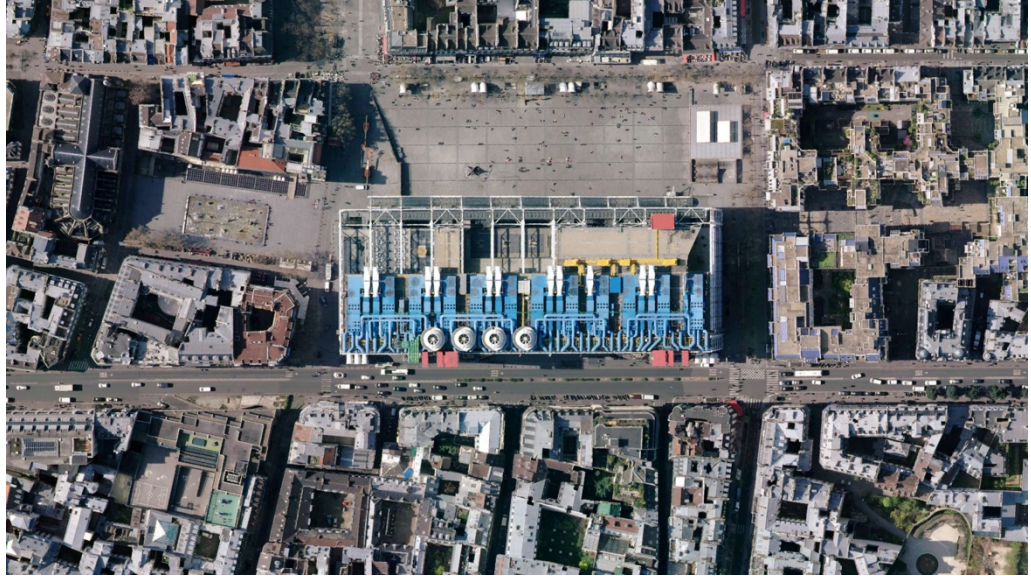


Figura 69 - Vista superior *Centre Pompidou*.



Figura 70 - Vista área *Centre Pompidou*.

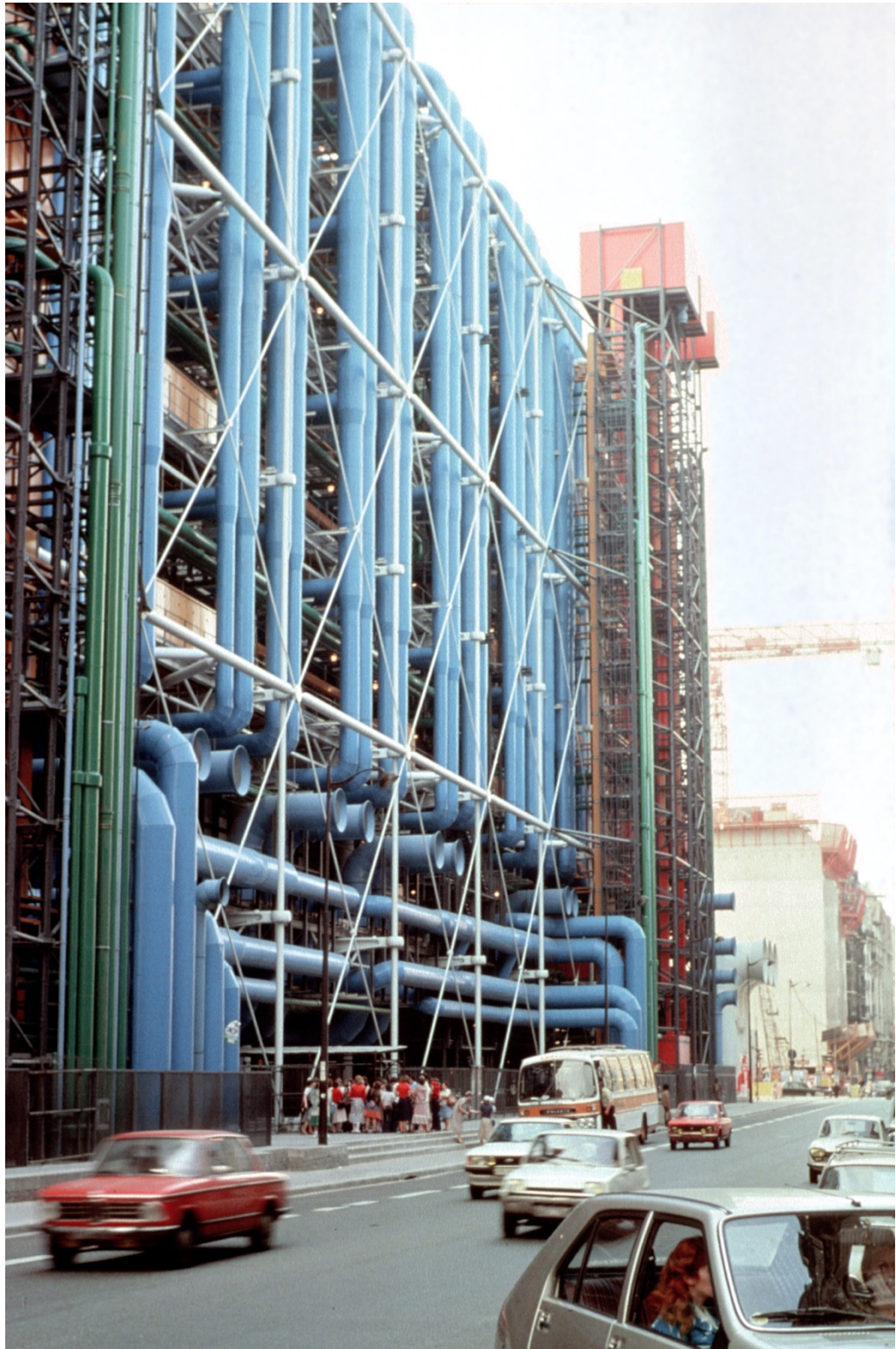


Figura 71 - *Centre Pompidou.*

Contexto contemporâneo: o rigoroso projeto de climatização

A implementação dos sistemas AVAC na arquitetura, não trouxe, apenas, grande rigor no ambiente interior, ao controlar vários critérios climáticos. O rigor também transpareceu para o âmbito do dimensionamento. Com isto, é essencial perceber quais são as variantes que condicionam os sistemas AVAC.

Antes de qualquer aproximação aos critérios de um projeto de dimensionamento, é necessário salientar que o arquiteto não é responsável por tal projeto. Adicionalmente, o projeto de dimensionamento é apenas realizado, por um engenheiro, quando o projeto de arquitetura está avançado. De certa forma, esta ordem de trabalho faz com que o projeto de dimensionamento sirva para corrigir erros climáticos cometidos pelo arquiteto. Pode ser bastante benéfico, em termos económicos, energéticos e de bem-estar que o arquiteto se torne responsável por parte do projeto de análise climática de um edifício.

Os critérios para um projeto AVAC, também são em parte limitadores. Abrangem as matérias, as suas espessuras e algumas características bioclimáticas. Contudo, revelam-se bastante limitadores para a criatividade do espaço e do arquiteto. Fornecer esta informação ao arquiteto pode fazer com que haja uma maior sensibilidade climática, ao projetar o espaço.

4_PÓS-AVAC: TRÊS REFERÊNCIAS BIOCLIMÁTICAS

Depois de analisar a faceta bioclimática das obras de Le Corbusier e Frank Lloyd Wright, bem como a história da implementação dos sistemas de climatização, na arquitetura, entende-se o contraste entre o objeto arquitetónico resultante destas duas versões. Agora, irá ser abordado o âmbito bioclimático, num contexto contemporâneo.

Com isto, este capítulo irá iniciar com a categorização dos princípios bioclimáticos. Isto é, fenómenos naturais que podem interagir com a arquitetura e, por sua vez, ter um impacto positivo no conforto. Tendo estes princípios como base, é possível desenhar uma arquitetura bioclimática.

De seguida, será analisado o trabalho de 3 arquitetos de cariz bioclimático, que se distinguem pelas suas abordagens referentes ao clima. O primeiro arquiteto baseia-se em técnicas bioclimáticas de arrefecimento. O segundo, em técnicas de aquecimento. E por fim, o terceiro, leva o seu entusiasmo, pelo clima, mais além e utiliza-o como elemento de arquitetura, o que será abordado no decorrer do capítulo.

Princípios Bioclimáticos: Sol, Arrefecimento e Aquecimento

Até agora, antes do capítulo dos sistemas de climatização, foram abordadas obras bioclimáticas, em particular do arquiteto Le Corbusier, e também de Frank Lloyd Wright. As obras apresentavam várias soluções distintas, o que nos demonstrou o quão variado pode ser o objeto arquitetónico quando adaptado ao clima. Todas as obras abordadas neste trabalho, de cariz bioclimático, baseiam-se em regras simples bioclimáticas.

Desta maneira, este trabalho ramifica as regras bioclimáticas, em duas categorias principais: a interação com o sol e as regras passivas. Para esta categorização, foi utilizada a informação da publicação de Helder Gonçalves e João Mariz Graça, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Os conceitos apresentados no trabalho, podem e são utilizados em vários climas, não só no português.⁸⁶

A interação com o sol

A interação entre o sol e o objeto arquitetónico é o primeiro passo para conseguir uma boa base bioclimática. É necessário primeiro analisar os requerimentos do clima. O clima pode exigir sol o ano todo, apenas em uma época ou nunca. Desta maneira, é necessário orientar o objeto arquitetónico e desenhá-lo em forma que cumpra os requerimentos climáticos.

O *brise-soleil*, de Le Corbusier é um excelente exemplo para tal. O seu princípio funciona bastante bem num clima português.⁸⁷ Aceita o sol de inverno, porém, protege do sol de verão. Contudo não é necessário copiar a técnica do *brise-soleil*, mas sim entender o seu funcionamento. O que serve, como base, para a manipulação do objeto arquitetónico.

⁸⁶ GONÇALVES, Helder ; MARIZ GRAÇA, João - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**

⁸⁷ Ibidem

Arrefecimento

Das técnicas de arrefecimento, a ventilação passiva é a essencial e a mais básica. O objeto arquitetónico tem de proporcionar as condições para a ventilação acontecer. Para isto existem inúmeras maneiras, como já foram analisadas e continuarão a ser. Cabe ao arquiteto manipular o objeto arquitetónico, aplicando este conhecimento.

O arrefecimento evaporativo, mais comum em climas mais extremos, consiste em fazer a interação entre a água e a arquitetura. Desta maneira, no local certo, a evaporação da água permite arrefecer a temperatura ambiente.

O arrefecimento através do solo, usufrui da frescura do subsolo, que é fresco sem a presença de raios solares. A *Robie House*, de Frank Lloyd Wright é o exemplo adequado. Como Banham refere, o piso inferior age como um *cool air tank*⁸⁸, que permite arrefecer toda a casa.

Aquecimento

Nos climas mais exigentes com temperaturas mais baixas, não chega uma boa orientação solar, também são necessárias outras técnicas para reter, no interior, o máximo de energia solar.

O ganho direto é o princípio mais simples, apenas consiste em permitir a entrada dos raios solares e o aquecimento do interior.

Outra solução para o aquecimento passivo prende-se com o ganho direto. A parede trombe é um exemplo. Consiste numa camada de vidro que permite os raios solares serem absorvidos por uma parede, regra geral escura. Para o aquecimento do ambiente interior acontecer existem entradas inferiores, para a entrada do ar mais frio, e saídas superiores para o evacuação do ar já aquecido. Como é possível ver na figura abaixo.

Por fim, temos o ganho desfasado. Sempre com o mesmo princípio de permitir o máximo de entrada de energia solar e retê-la da maneira mais eficiente. Como por

⁸⁸BANHAM, Reyner - *The Architecture of the Well-tempered Environment* p.117

exemplo, uma estufa agrícola, por norma, este princípio revê-se num compartimento separado do espaço principal.

Isto pode partir como princípio para gerar várias possibilidades para o objeto arquitetónico. Como será explorado adiante.

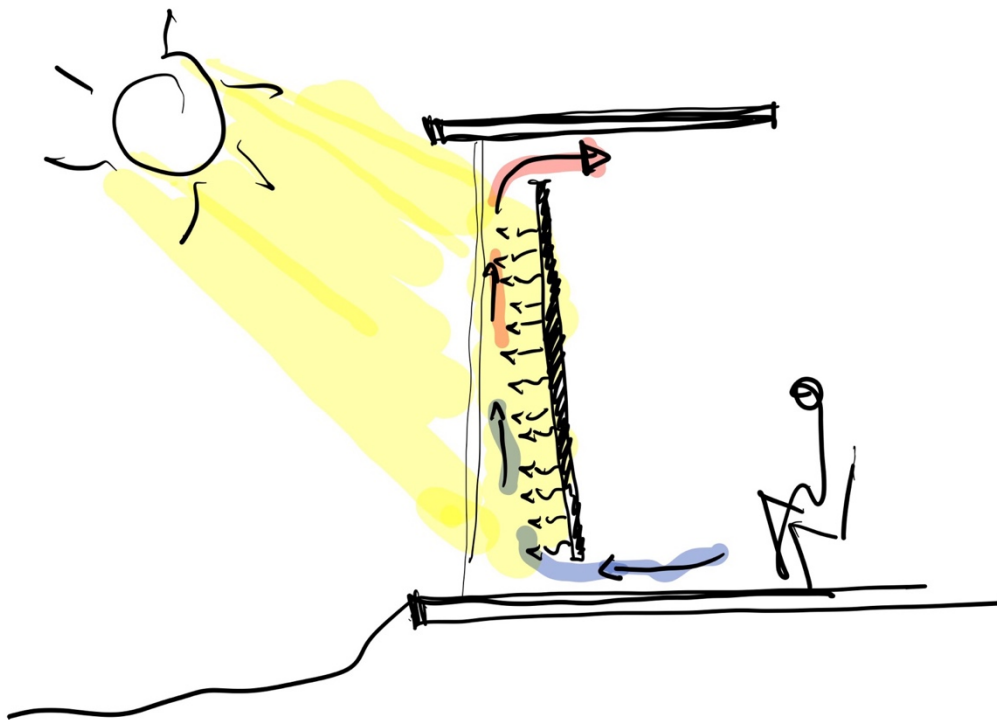


Figura 72 - Parede trombe.

Diébédo Francis Kéré: ventilação e sombreamento

Para este primeiro exemplo, apresenta-se o trabalho do vencedor, do mais recente prémio Pritzker, do ano 2022. Francis Kéré, original de Dano, Burkina Faso, licenciado em arquitetura pela Universidade Técnica de Berlim, tem um portefólio de obras, onde desenha obras para climas extremos, com a intenção de poder proporcionar melhor qualidade de vida nestes lugares. Esta visão e missão do arquiteto, remonta-nos ao seu local de nascimento, Dano. No entanto, o seu conjunto de obras também abrange outros lugares de climas extremos.

I would like to show you how architecture has helped to change the life of my community and have opened opportunities to hope.⁸⁹

Em 2006, Francis Kéré dá início ao projeto *Dano Secondary School*. A temática vernacular, nas técnicas construtivas, é um ponto estrutural desta obra, bem como de outras. Para este projeto, o arquiteto propõe a argila como o material principal, o mesmo material que é utilizado para construções vernaculares neste território. Porém, importa ressaltar que as técnicas construtivas propostas, por ele, não são vernaculares.⁹⁰

Outro grande foco do projeto, aliado às técnicas construtivas e matérias vernaculares, é a ambição para atingir o conforto. Para isto, o arquiteto utiliza o desenho do espaço, a arquitetura. É o desenho, a orientação e as materiais que fazem com que o espaço seja o mais confortável possível.

Para contextualizar as necessidades bioclimáticas deste lugar, é necessário perceber o seu clima. Os dados apresentados, baseiam-se em dados climáticos dos últimos 30 anos. Dano, em Burkina Faso, tem uma temperatura mínima de 20°C, em janeiro, e a temperatura máxima é de 36°C. A temperatura máxima registada, na mesma época temporal, foi de 40°C.⁹¹

⁸⁹ TED - **Diébédo Francis Kéré: How to build with clay... and community**[Video em linha]. 10 Dez. 2013. [Consult. 12 Maio 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.youtube.com/watch?v=MD23gllr52Y>>.

⁹⁰ Ibidem

⁹¹ www.meteoblue.com



Figura 73 - Escola Secundária de Dano

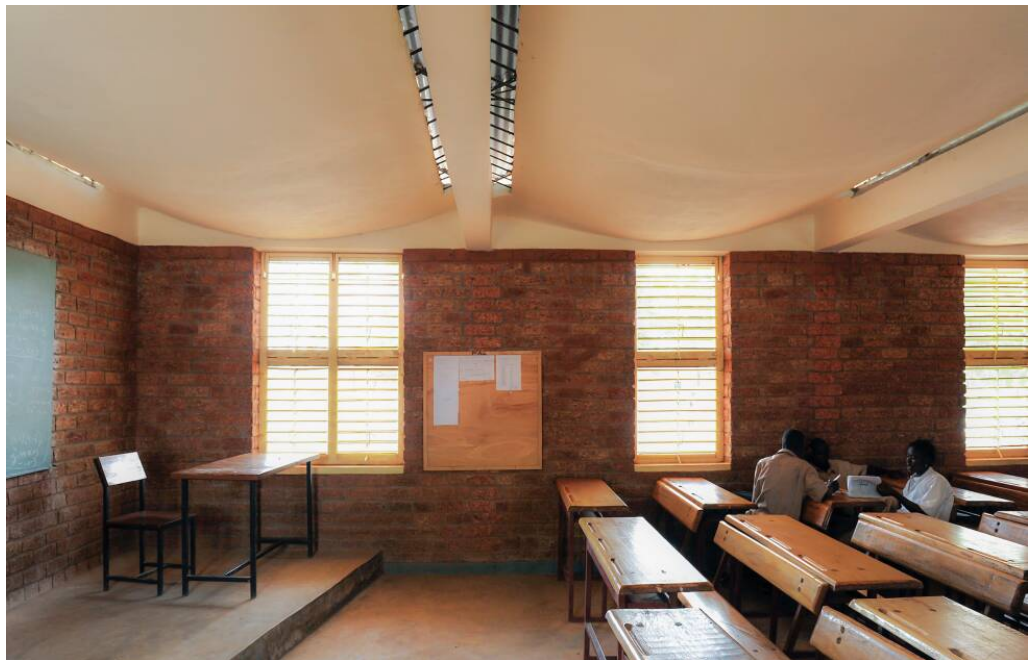


Figura 74 - Interior da *Escola Secundária de Dano*.

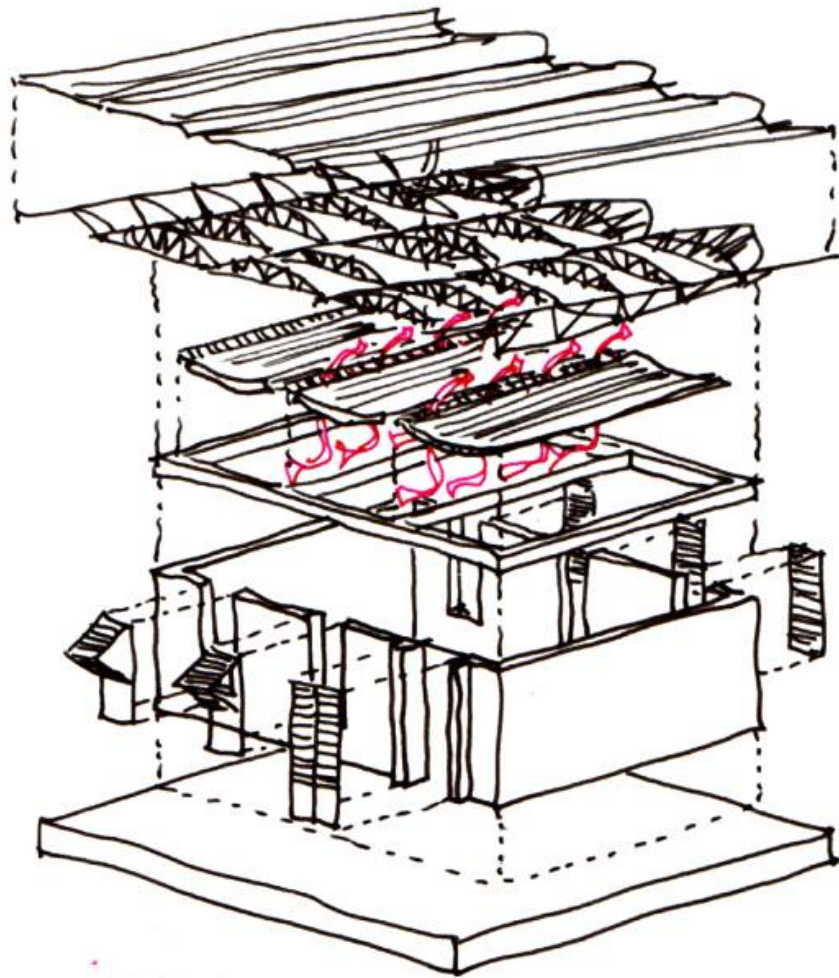


Figura 75 - Desenho de Francis Kéré com princípio de ventilação, *Escola Secundária de Dano*.

A ventilação natural é a técnica que Francis Kéré escolhe dar destaque. Como é perceptível pelo esquiço do arquiteto, na figura acima, reúnem-se todas as condições para existir ventilação transversal por todo o edifício. Em conjunto com a ventilação transversal, ainda existem saídas, na cobertura, para o ar mais quente evacuar.

O pensamento bioclimático deste edifício ainda vai mais além. Para prevenir a incidência solar direta no volume que alberga o interior, o arquiteto projeta uma segunda cobertura. Com isto, a energia solar concentra-se nesta, o que faz com que o calor não trespasse para o interior. O espaço entre a cobertura e o volume programático, também permite com que exista fluxo de ar, desta maneira, os materiais não aquecem tanto. Parte da justificação, desta segunda cobertura, também se deve ao facto de existirem grandes quantidades de precipitação, de junho a setembro.⁹² Assim, é prevenido o contacto diretos entre a água e o bloco do edifício.

Aliado a todas estas técnicas, ainda existem vários espaços exteriores de convívio, pelo edifício, que servem como abrigo para o sol.

⁹² www.meteoblue.com

Estas técnicas bioclimáticas mantêm-se como base para outras obras do arquiteto. Em 2014, Francis Kéré, projeta o *Lycée Schorge*, outra escola secundária para Burkina Faso, contudo, desta vez para Koudougou, umas das cidades com mais população no país.⁹³

Em semelhança com o projeto anterior, o arquiteto incorpora no edifício duas coberturas, a primeira, apenas, para a proteção dos raios solares e das precipitações intensas e a segunda que faz parte do volume que constitui o programa interior. Contudo, desta vez, o arquiteto adiciona mais uma proteção solar, vertical, que fica ligada entre as extremidades da primeira cobertura e o chão. Desta maneira, cria-se um espaço intermédio, entre o interior e exterior, com sombra e ventilação, e ao mesmo tempo também protege o volume de radiação solar, na sua totalidade.

Para a ventilação, o arquiteto propõe a entrada de ar fresco por aberturas inferiores, debaixo das janelas. Pelo exterior, estas mesmas coberturas, são acompanhadas por bancos, que dão apoio, no lugar intermédio, com proteção solar. As aberturas, para a saída do ar quente, surgem a partir da forma ondulada da cobertura. Contudo, para este projeto, é prevista mais uma saída do ar quente, saliente pelo exterior, com a forma de uma chaminé. Isto é visível desde o interior, como é perceptível pela esquema e figura abaixo, bem como do exterior. O princípio de funcionamento desta lógica de ventilação está explícito no diagrama abaixo.

⁹³ **Lycée Schorge** Disponível em WWW: <URL:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/lycee-schorge>>.

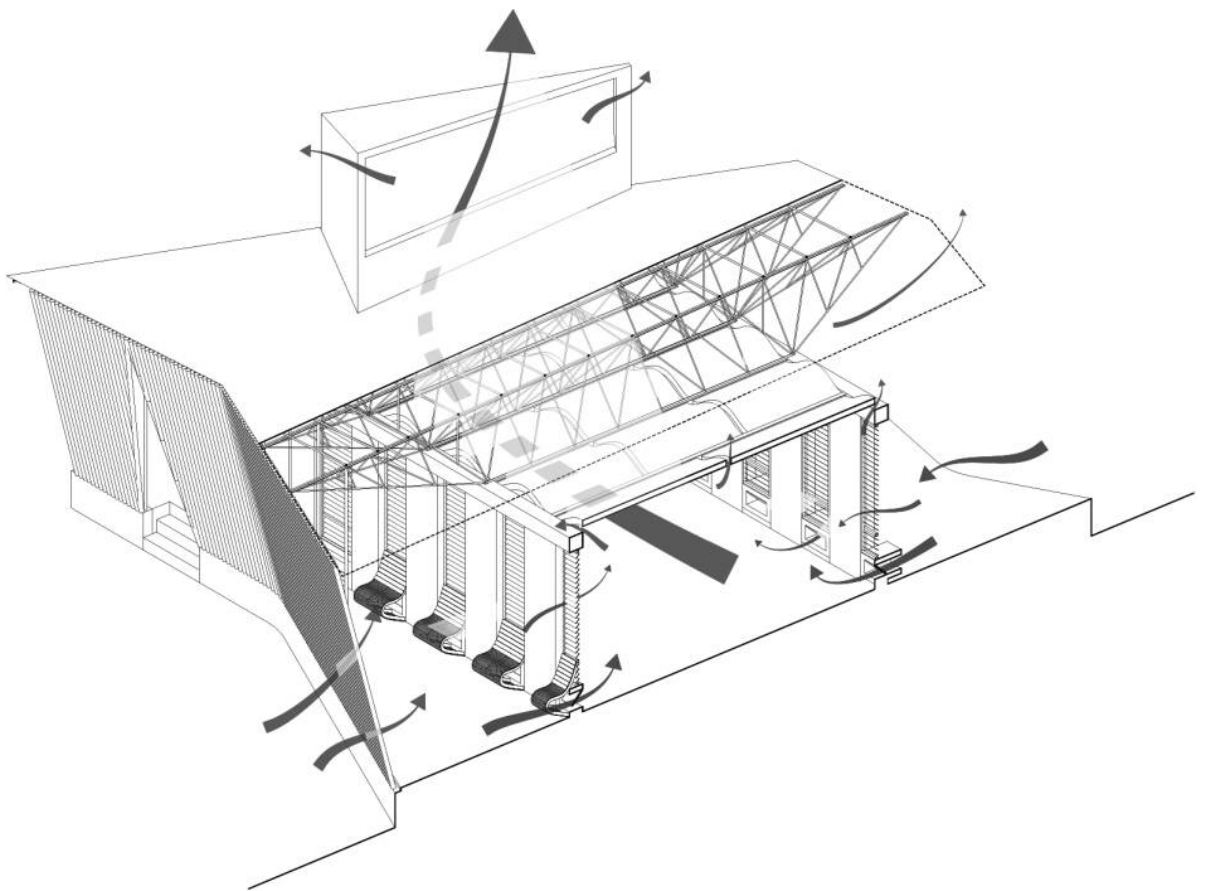


Figura 76 - Diagrama com princípio de ventilação, *Escola Secundária Lycée Schorge*.



Figura 77 - Interior da *Escola Secundária Lycée Schorge*, com chaminé de ventilação.

Numa aproximação formalista, distinta daquela que foi abordada, Francis Kéré, projeta, em 2019, o *Startup Lions Campus*, para o Quênia. A partir do princípio da ventilação passiva e da convecção, onde o ar mais quente ascende, o arquiteto projeta, o que parece ser, um espaço bastante confortável.

A obra define-se por três volumes principais, onde, em dois deles, as janelas estão orientadas a Norte e a Sul, e apenas existe proteção solar nas janelas orientadas a Norte. No volume restante, as janelas estão orientadas a Noroeste e Sudeste. Para este, é proposto proteção solar em todas as janelas.

Para a ventilação, o arquiteto propõe o mesmo princípio do que o projeto anterior, com as chaminés de extração de ar quente, porém, sem a cobertura secundária. Na circulação do ar interior, também é proposta uma solução distinta. A solução passa por interligar os dois pisos, para proporcionar a convecção. Assim o ar mais quente consegue fazer a ascensão desde o piso inferior até às chaminés. Em semelhança com os seus outros projetos, Francis, prevê a entrada do ar mais fresco pelas janelas do piso inferior e, também, por umas entradas colocadas por baixo das janelas do piso superior. Ainda no piso superior, é prevista uma parede falsa, que dá lugar a um percurso de ar, desde o piso inferior.

O destaque das técnicas bioclimáticas, nas obras de Francis Kéré não pode passar despercebido. Um dos primeiros objetivos que o arquiteto traçou foi proporcionar uma melhor qualidade de vida à sua terra natal, através da arquitetura. Desta maneira, é notório que Kéré entendeu o quão importante seriam as suas preocupações bioclimáticas, para conseguir tal objetivo. Por isto, os princípios bioclimáticos foram os pilares para proporcionar o conforto e, por sua vez, uma melhor qualidade de vida.

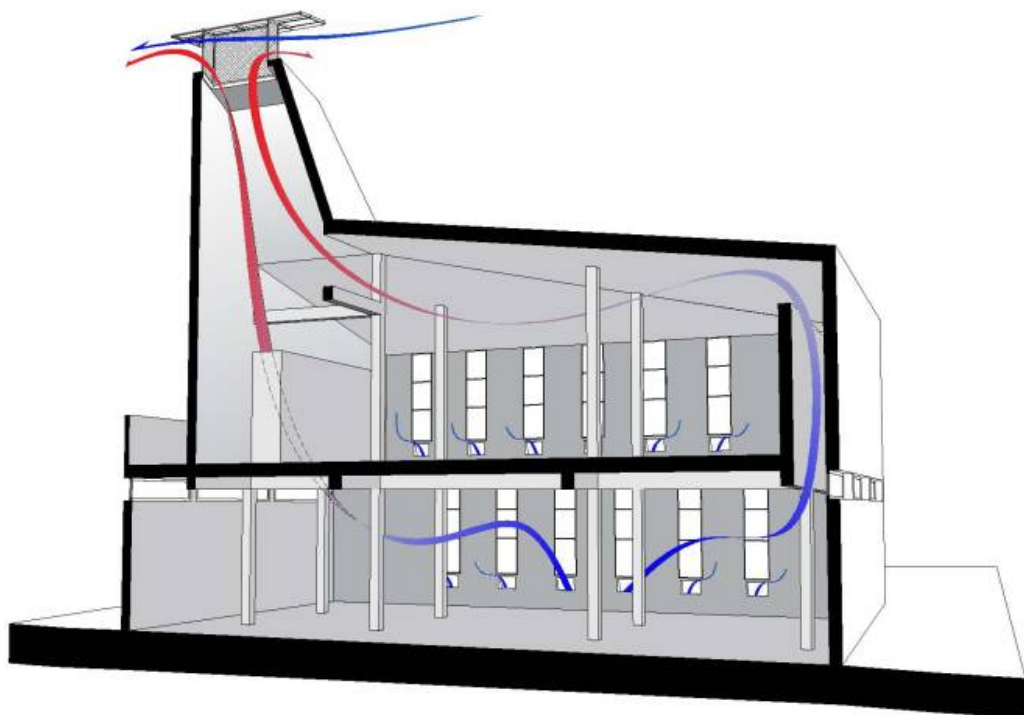


Figura 78 - Diagrama com princípio de ventilação, *Startup Lions Campus*.



Figura 79 - Fachada Sul, *Startup Lions Campus*.

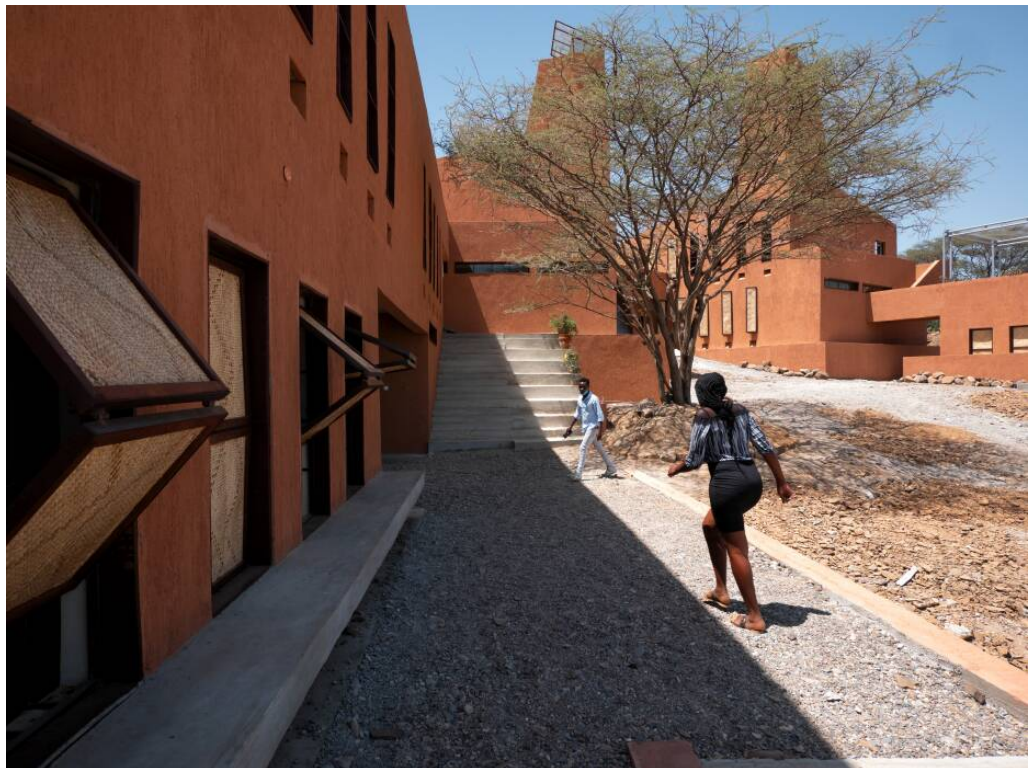


Figura 80 - Fachada Norte, *Startup Lions Campus*.

Lacaton & Vassal: técnica de estufa

A dupla francesa de arquitetos, também teve o seu trabalho reconhecido por um prémio Pritzker, no ano de 2021. As suas obras são características pela utilização de materiais industriais, por norma, metálicos e com policarbonato. Desta maneira, Lacaton & Vassal pretendem proporcionar mais espaço e de maior qualidade, a um preço reduzido. *Freedom of use*, é um dos adjetivos que os arquitetos utilizam para os seus espaços, acreditam em espaços polivalentes.⁹⁴

No início do percurso profissional, os arquitetos trabalharam em Africa, o que os influenciou bastante.⁹⁵ O primeiro projeto foi em 1984, ao longo do rio Niger.⁹⁶ Durante esta época, os arquitetos aprenderam a trabalhar sob fortes condicionantes. Agora, com esta habilidade, fazem projetos sobre a condicionante do orçamento. Ambicionam fazer mais por menos. Evitam destruir, adaptam e reutilizam.⁹⁷

Numa entrevista para *Arquitectura: Cambio de Clima*, Jean Philippe Vassal, explica o seu interesse pelo clima. O facto de ter passado a sua infância em Casablanca e o seu pai ter sido meteorologista, poderá ter sido uma influência preponderante. O arquiteto, refere o interesse no espaço intermédio, que separa o interior do exterior.

*We explore the intermediate space that separates two climates.*⁹⁸

⁹⁴ **Metropolis** – Game Changers – January 2016 p 81

⁹⁵ FERNÁNDEZ GALIANO, Luis - **Arquitectura: Cambio de Clima**.

⁹⁶ HUBER, David - Game Changers 2016. **METROPOLIS**

⁹⁷ FERNÁNDEZ GALIANO, Luis - **Arquitectura: Cambio de Clima**.

⁹⁸ Ibidem



Figura 81 - Vista exterior, *Maison Latapie*.

Hall d'Exposition Paris Norte: fachada bioclimática e ventilação

Em 2007, o atelier Lacaton & Vassal, apresenta o *Hall d'Exposition Paris Nord*. O programa resume-se a um grande complexo para eventos e exposições. Em destaque, está a estrutura que consegue vencer grandes vãos, sem necessitar de qualquer pilar a interromper o espaço. Porém, para o conforto térmico, os arquitetos idealizam uma fachada complexa, com ventilação e outras técnicas bioclimáticas, para aquecimento.

A complexidade e as intenções bioclimáticas revelam-se nas fachadas a Norte, Este e Sul. Os arquitetos apresentam-nos uma fachada dupla, em policarbonato, com um vão de, aproximadamente, 1 metro. Para conseguir a função bioclimática, os arquitetos preveem, para este vão, três tipos de plantas, bem como aberturas que podem ser utilizadas, no verão, para o arrefecimento. Buganvília, Convolvuláceas e Árvore de Maracujá são as plantas utilizadas para o efeito bioclimático.⁹⁹ No limite, este conceito, de um muro que serve de ponte térmica, remonta-nos às primeiras intenções de Le Corbuiser, com o *mur-neutralisant* e a *serre-chaude*.

A presença da vegetação, no interior desta fachada, ajuda a controlar a incidência solar. No inverno, quando é necessário a energia solar para o aquecimento do interior, as plantas permitem, porém, no verão, a vegetação cresce e ganha volume, o que protege o interior.¹⁰⁰

Para tornar esta solução fiável, existe um sistema que contempla tubos de água quente para fazer com que as plantas consigam sobreviver, no inverno. Também existe um sistema de rega, gota a gota, para garantir a sobrevivência da vegetação.¹⁰¹

Para tornar o espaço confortável no verão, são desenhadas aberturas do lado interior e exterior, da fachada. Com isto, o ar passa desde o interior, através da fachada bioclimática, para o exterior.

*Des ouvrants automatiques créent une ventilation naturelle qui, selon la saison, permet de retarder l'utilisation de la climatisation ou du chauffage à l'intérieur du bâtiment.*¹⁰²

⁹⁹ CHESSA, Milena - Des serres en façade régulent le climat d'un hall d'exposition. **Le Moniteur**.

¹⁰⁰ Ibidem

¹⁰¹ Ibidem

¹⁰² Ibidem



Figura 82 - Interior da fachada estufa, *Hall d'Exposition Paris Nord*.



Figura 83 - Interior, *Hall d'Exposition Paris Nord*.

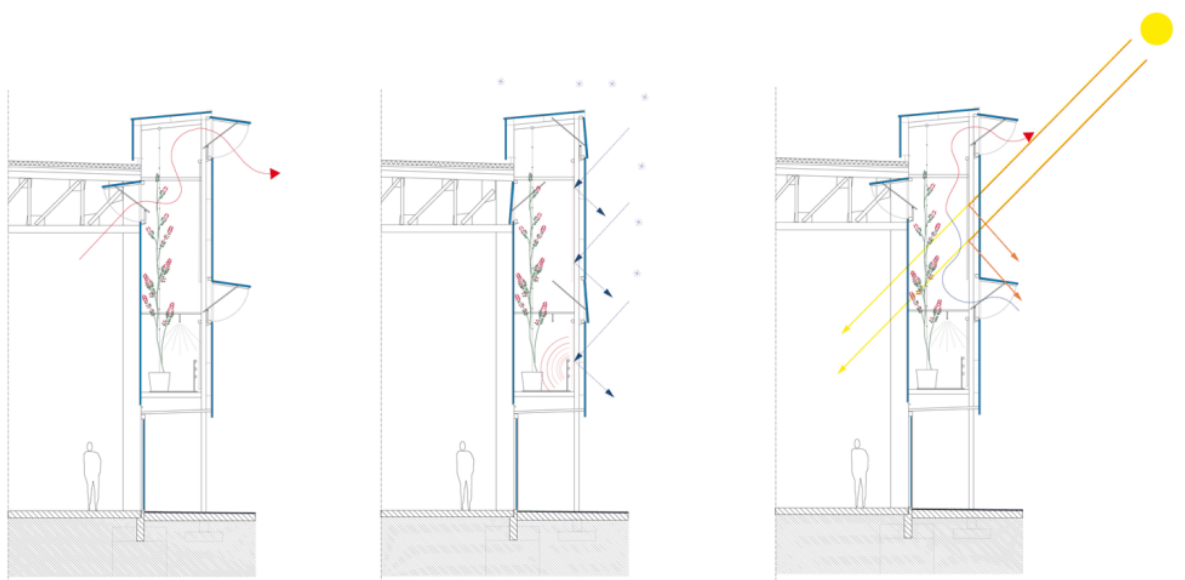


Figura 84 - Princípio bioclimática da fachada, *Hall d'Exposition Paris Nord*.

Para Lacaton & Vassal, o tema da habitação, coletiva ou individual, é um campo de investigação. Para conseguir proporcionar espaços maiores e mais qualitativos, os arquitetos, recorreram à utilização de materiais industriais e agrícolas, mais concretamente, a estruturas metálicas e estufas. Porém, o ênfase no clima e no conforto térmico, também assume um papel principal. Jean-Philippe Vassal, explica de que maneira é que a experiência em África os influenciou, através da seguinte citação.

What's interesting is that there, everything was very clear-cut. Things are direct, the climate is hard, so is the landscape, always horizontal and naked. There, every move directed at survival. When it's very warm, you instinctively look for shade, an air current. In the battle against the rigors of climate, people's inventiveness is indispensable. Everything is immediately visible.¹⁰³

¹⁰³ FERNÁNDEZ GALIANO, Luis - **Arquitectura: Cambio de Clima.**

Transformation de 530 logements: estufa

Numa escala coletiva, a intervenção do edifício residencial em Grand Parc, em 2017, materializa esta identidade dos arquitetos. Para esta obra, o principal objetivo era elevar a fasquia da qualidade espacial. Existia a possibilidade de demolir o edifício na totalidade, no entanto, os arquitetos projetam uma adição ao edifício original. Esta adição revê-se na fachada, o projeto ofereceu um espaço extra as pessoas. Um espaço polivalente, sem um uso predefinido, para qual os habitantes definem o seu uso. ¹⁰⁴

Em relação ao conforto térmico, os ganhos são evidentes. Como no *Hall d'exposition*, esta adição ao edifício, funciona como uma quebra da ponte térmica entre o interior e o exterior. No inverno, serve para captar o máximo de energia solar e não a desperdiçar. Assim, o espaço interior é aquecido passivamente.

¹⁰⁴ **Metropolis** – Game Changers – January 2016 p.81



Figura 85 - Fase de construção, *Transformation de 530 logements.*

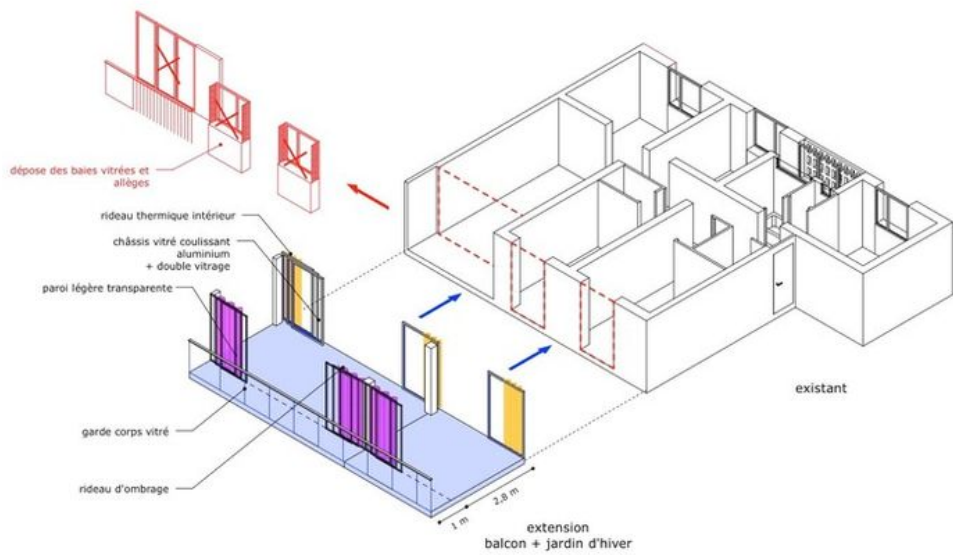


Figura 86 – Diagrama do princípio do projeto, *Transformation de 530 logements.*

Maison Latapie: estufa

Numa escala de habitação individual, a *Maison Latapie*, de 1993, localizada em Floirac, é uma das primeiras obras a contemplar a técnica de estufa. Existem duas justificações que os arquitetos relacionam com a escolha dos materiais e da técnica. Primeiramente, a relação entre o preço e o metro quadrado, que é bastante benéfica. Em segundo, a questão do clima e do bem-estar. Porém, numa entrevista para a revista *Le Moniteur*, depois de explicar o funcionamento da técnica estufa, os arquitetos também declaram, esta escolha, como emocional.

Les serres ne sont donc pas seulement des dispositifs techniques, mais également des objets d'émotions. ¹⁰⁵

Um espaço estufa oferece inúmeras vantagens a nível bioclimático. Na *Maison Latapie*, como em outras obras dos arquitetos, existem três categorias de espaços. O espaço exterior, o espaço intermédio estufa e, por fim, o interior, se necessário, climatizado. A estufa age como uma segunda pele, protege o interior das condições climáticas mais frias e severas e, ao mesmo tempo, consegue reter o calor, ganho através dos raios solares. Por consequência, o espaço interior, não tem um contacto tão chocante com as temperaturas de inverno. No verão, as cortinas e as janelas da estufa podem ser abertas para proteção solar e para permitir a ventilação, por toda a casa. O princípio de uma segunda pele, ou estufa, é bastante eficiente, como os arquitetos esclarecem na citação abaixo.

Le confort que procurent une surface et un volume généreux où la lumière circule en abondance, la liberté d'usages et les nouvelles manières d'habiter que suscite la mise en relation d'un espace chauffé avec l'espace intermédiaire de la serre et l'espace extérieur et enfin l'efficacité énergétique se déduisant du fonctionnement bioclimatique du dispositif. ¹⁰⁶

¹⁰⁵ CHESSA, Milena - Des serres en façade régulent le climat d'un hall d'exposition. **Le Moniteur**.

¹⁰⁶ DARMON, Olivier - **Archi pas chère : serre et habitat** p.144

Aqui, presenciamos, como no *Hall d'exposition*, os vários princípios bioclimáticos a gerar o projeto. São as preocupações climáticas que influenciam os arquitetos a desenhar os espaços estufas, ou a fachada do *Hall d'exposition*, ou a adição no edifício do *Grand Parc*. Como Le Corbusier, quando desenhou o primeiro esquiço do *brise-soleil*.



Figura 87 - Interior *Maison Latapie*.

Philippe Rahm: ciência climática como elemento arquitetônico

No início deste trabalho, surgiu a narrativa da interação entre o clima e a arquitetura. A maneira em que o clima influencia o espaço e o objeto arquitetônico. No caso de Le Corbusier, grande parte dos seus desenhos eram apoiados por alguns dados concretos, como por exemplo ângulos do posicionamento solar. Porém, o rigor não se estendia muito além disso. Agora, como foi possível entender no capítulo anterior, referente aos sistemas AVAC, o rigor está à disposição da arquitetura. Os dados são concretos e os cálculos exatos, se assim pretendemos.

Com isto, o arquiteto suíço, Philippe Rahm, com escritório em Paris, idealiza uma arquitetura na qual é o clima a definir o espaço, uma ideia complexa para uma primeira abordagem. Não são obras bioclimáticas convencionais, não se trata apenas de desenhar um projeto de arquitetura em função do clima. O que o arquiteto propõe é que os novos elementos da arquitetura, sejam a convecção, a condução, a radiação e a pressão. Com estes, proporciona a nova experiência arquitetônica.

Enquanto Lacaton & Vassal, desafiam os estereótipos, através da materialidade e do uso, sempre com um lado conservador, por mais pequeno que seja. Rahm, desafia todo os estereótipos. Para o arquiteto, a arquitetura tem como primeiro objetivo manipular o clima, em prole do conforto e das sensações. No limite, os espaços não são projetados consoante um uso específico, mas sim com o fim de atingir uma condição atmosférica, com o objetivo de produzirem sensações climáticas.

Moving from solid to void, from visible to invisible, from metric composition to thermal composition, architecture meteorology opens sensual, variable dimensions in which limits fade away and solids evaporate.¹⁰⁷

Philippe Rahm inicia várias das suas palestras a abordar a temática do aquecimento global. O arquiteto encara que este novo paradigma mundial requer uma arquitetura com novos elementos, uma arquitetura que se baseia no clima.¹⁰⁸ Com isto,

¹⁰⁷ RAHM, Philippe - METEOROLOGICAL ENCYCLOPEDIA. **PRAXIS: Journal of Writing + Building** Encyclopedia p.103

¹⁰⁸ PHILLIPE RAHM ARCHITECTS - **Constructed Atmospheres: Architecture as Meteorological Design**. p. 14

é importante realçar que o arquiteto não está à procura de uma arquitetura sem o uso da tecnologia, pelo contrário, vários projetos de Rahm incluem mecanismos para vários efeitos. Para entender os trabalhos de Philippe Rahm é necessário analisá-los numa perspetiva climática, é aí que se realça a qualidade arquitetónica das mesmas. O seu objetivo vai para além do conforto, Rahm, ambiciona redefinir a experiência arquitetónica com o clima.

The task is no longer to build images and functions but to open up climates and interpretations. At the large scale, meteorological architecture explores the atmospheric and poetic potential of new construction techniques for ventilation, heating, dual-flow air renewal and insulation.¹⁰⁹

¹⁰⁹ RAHM, Philippe - METEOROLOGICAL ENCYCLOPEDIA. **PRAXIS: Journal of Writing + Building**

Split Time Café: radiação

Em 2007, para a Áustria, o arquiteto projeta um café, composto por um volume bastante simples, retangular, de apenas um piso. Para proporcionar a experiência deste espaço, Rahm, utiliza o elemento da radiação. Com base neste elemento, são projetados três espaços distintos. O que diferencia os espaços é a janela, ou vão, com o espaço exterior, este filtra a radiação que o arquiteto pretende.

A primeira divisão, titulada de *night*, contém um vidro que serve como filtro para a radiação, radiação esta, que é responsável pela diminuição dos níveis de melatonina no nosso corpo.

O segundo, titulado de *day*, faz o oposto. O vidro azul, que fica em contacto com o exterior e interior e serve como inibidor de secreção de melatonina.¹¹⁰

Através de manipulação da atmosfera, estas decisões arquitetónicas fazem com que o arquiteto consiga atingir as sensações no espaço.

*Architecture becomes a time –machine, permitting to cross the time, to pass instantly from the day to the night, to shift from the naturalness to the artificial in a fragment of second.*¹¹¹

¹¹⁰ **Split time café** - Philippe Rahm architectes [Em linha]. [Consult. 21 Maio 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.philipperahm.com/data/projects/splittimescafe/index.html>>.

¹¹¹ Ibidem

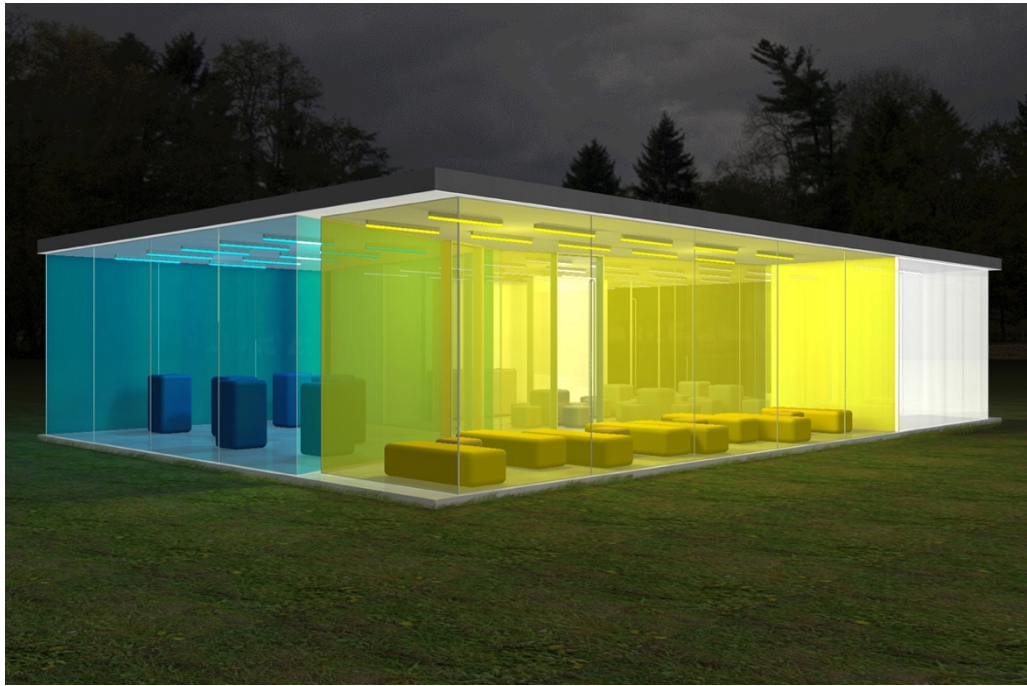


Figura 88 – Vista exterior, *Split Time Café*.

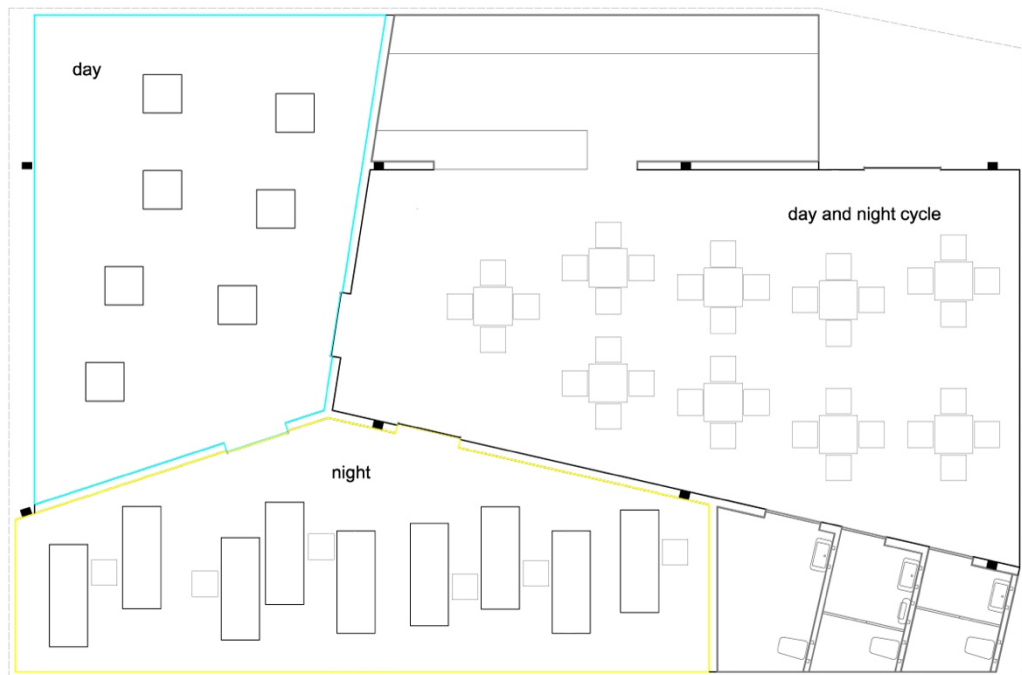


Figura 89 - Planta, *Split Time Café*.

Thermal conductivity: condução térmica

O isolamento, mesmo que não tenha sido alvo de estudo, até agora, neste trabalho, é uma temática abordada pelo arquiteto Philippe Rahm. Para o projeto de uma escola primária em Neuveville, na Suíça, em 2007, o arquiteto propõe manipular o princípio da condução térmica.

Primeiramente, o arquiteto guia-se pela temperatura ideal para cada compartimento. Numa sala onde o aluno vai estar parado, sem movimento, a temperatura ambiente necessita de ser mais elevada, contudo, nos corredores a temperatura não necessita de ser superior a 15°C.¹¹² Desta maneira, o arquiteto projeta o edifício com as camadas necessárias para cada compartimento. Como é perceptível pela planta do projeto, na figura abaixo, o destaque está nas camadas de isolamento.

Como o próprio afirma:

*Our school is like an onion of thermal layers according to the temperatures required in connection with activity.*¹¹³

¹¹² **Thermal conductivity - Philippe Rahm architects** Disponível em WWW:
<URL:<http://www.philipperahm.com/data/projects/thermalconductivity2/index.html>>.

¹¹³ Ibidem

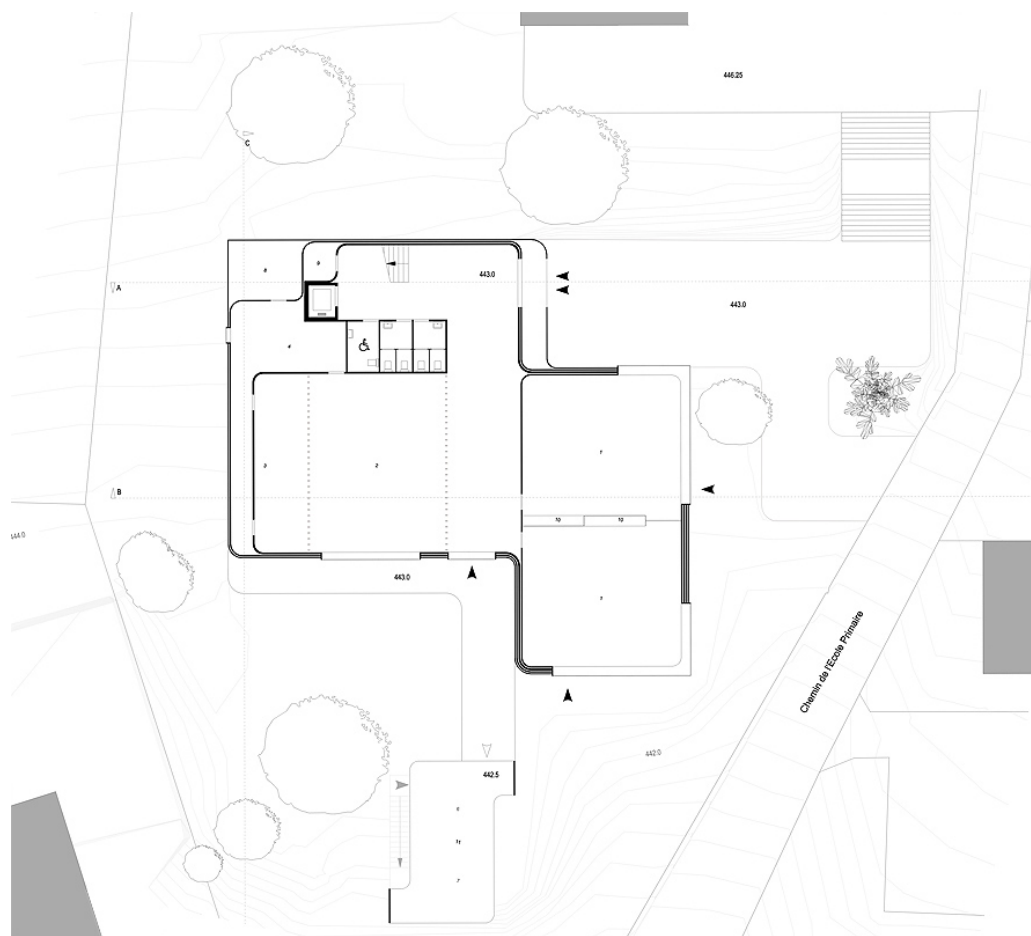


Figura 90 – Planta, Escola Primária em Neuveville.

Domestic astronomy: convecção

Para a convecção, uma temática inerente em inúmeros trabalhos apresentados pelo arquiteto Philippe Rahm, é proposto um protótipo, interessante, para um apartamento, titulado de *Domestic astronomy*. Este fazia parte de uma exposição na Dinamarca, em 2009, titulada de *Green Architecture for the Future*. No seu sítio online, o arquiteto introduz o trabalho da seguinte maneira.

*Domestic astronomy is the prototype of an apartment where you no longer occupy a surface, you occupy an atmosphere.*¹¹⁴

Mais uma vez, o arquiteto guia-se pela temperatura ideal para cada atividade, pelo standard suíço de construção (SIA). Isto é, para dormir, a temperatura necessita de ser mais elevada, porque o nosso corpo não está em movimento e, por norma, com menos roupa. Contudo, para cozinhar a temperatura pode ser bastante mais baixa. Desta maneira, baseando-se no princípio de convecção, o arquiteto dispõe o espaço na vertical, os espaços com necessidade da temperatura mais alta, ficam num patamar mais elevado.

Para o aquecimento deste espaço, o arquiteto utiliza lâmpadas com 100W de potência, argumentando que as lâmpadas são ineficientes na função de iluminar, pois grande parte da energia passa a calor. Um conjunto de lâmpadas são colocadas num ponto estratégico para proporcionar a temperatura certa nos restantes lugares do apartamento. O posicionamento desta fonte de aquecimento é calculado para proporcionar a temperatura ideal para todos os espaços da casa, como é perceptível pelo corte abaixo.

Em suma, o conjunto de trabalhos do arquiteto Philippe Rahm traz uma nova perspetiva para a arquitetura, concentrada no controlo da atmosfera. No limite, o principal objetivo da arquitetura pode ser de servir o clima, como o próprio diz, *Form function and follows climate*.¹¹⁵ Ainda mais além, a arquitetura pode servir como proporcionador de sensações climáticas.

¹¹⁴ **Domestic astronomy - Philippe Rahm architects**[Em linha]. [Consult. 27 Maio 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.philipperahm.com/data/projects/domesticastronomy/index.html>>.

¹¹⁵ Rahm, P. (2007). Form and Function Follow Climate. *AA Files*, (55), 2–11. <http://www.jstor.org/stable/29544645>

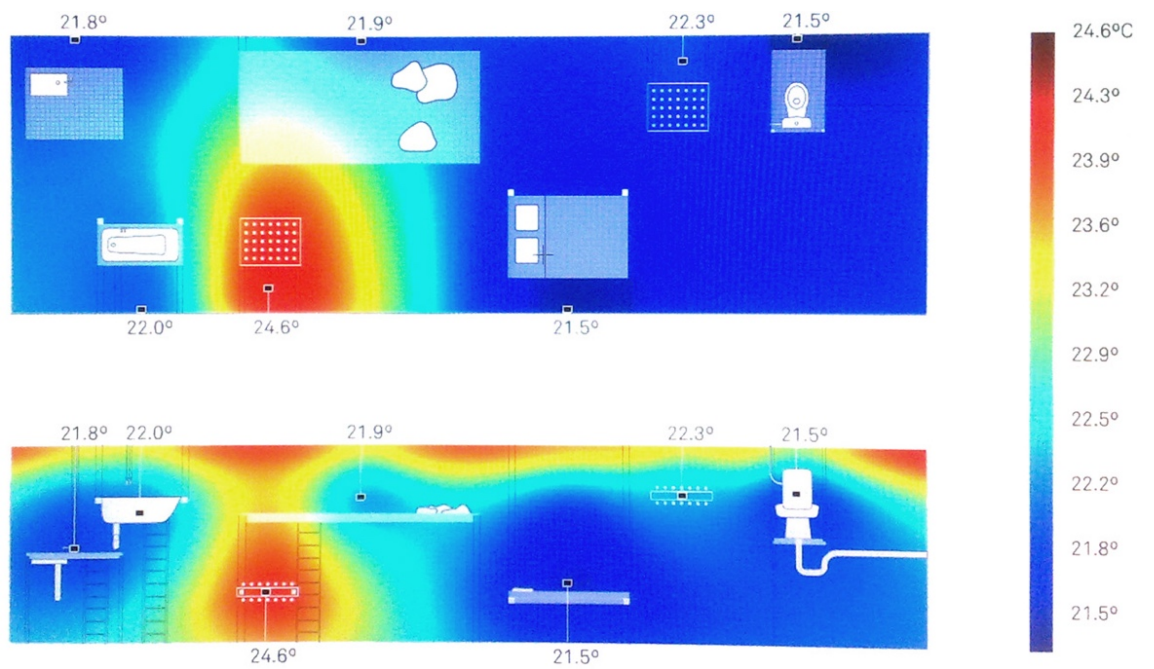


Figura 91 - Corte, *Domestic Astronomy*.



Figura 92 - Interior, *Domestic Astronomy*.

CONCLUSÃO

A cultura das construções vernaculares pelo mundo, vinculadas com o mapa climático mundial, pode ser o suficiente para resumir esta dissertação. O que estas construções nos mostram é a dependência e eficiência do conhecimento climático para a arquitetura, antigamente por questões de sobrevivência.

Por outro lado, as obras de Le Corbusier e de Frank Lloyd Wright vieram-nos mostrar, uma arquitetura desenhada em função do clima, com a finalidade de atingir o conforto interior. Mesmo não experienciando estes espaços nas quatro estações do ano, pela análise que foi feita aos trabalhos, é perceptível que a experiência de habitar é repleta de conforto durante todo o ano. O desenho demonstra que o espaço é capaz de extrair qualidade de permanência em distintas estações climáticas. Demonstram estudo dos elementos naturais, quando protegem o objeto arquitetônico de raios solares, para efeitos de arrefecimento, ou expõem o interior à energia solar, com a finalidade de aquecimento. Estes exemplos justificam a capacidade destes artistas utilizarem as capacitações naturais em prol do bem-estar num edifício.

Com a segunda revolução industrial, um novo capítulo nesta interação entre a arquitetura e o clima abriu-se. Sempre se utilizou o auxílio de métodos como a lareira ou aquecimento por água quente, no entanto, neste curto espaço de tempo a revolução foi de tal ordem que o interior transita para um espaço de intenso rigor climático. Este rigor advém dos mecanismos que se introduziram, nomeadamente os de ar condicionado. As máquinas necessárias para este fim, criaram uma nova relação com o objeto arquitetônico. Isto não significa um julgamento de qualidade de produto, no entanto é necessário ressaltar o impacto visual que trouxeram. Consequentemente o que estes mecanismos trouxeram foi uma garantia da temperatura interior, consoante o desejo individual. Fizeram com que o conhecimento do clima, e do percurso do sol, fosse ignorado e não se revisse no objeto arquitetônico.

Por fim, as obras dos três arquitetos contemporâneos, aliados à categorização dos princípios bioclimáticos para uma arquitetura confortável, mostram-nos a oportunidade emergente no processo de projetar na arquitetura. Com isto, é necessário o estudo climático e do percurso do sol, antes do projeto arquitetônico porque, como é hábito para projetar uma boa arquitetura existe, antes do primeiro traço, uma análise in situ. Nesta análise, considera-se a vertente cultural e a vertente física, desta maneira, o clima deve ser uma das considerações que influenciam o projeto. Em suma, traçar um projeto que interaja com o clima, resume-se a um sentido lógico, associado à poesia, que é digna à arquitetura.

Conclui-se o trabalho de uma forma objetiva, no meio de toda a poesia. A última figura do trabalho, capturada no dia 12 de Junho às 14h00 mostra-nos um prédio, em Braga, com grande incidência solar em toda a fachada e, por consequência, as persianas fechadas. Assim retrata-se a importância de uma arquitetura que considere o clima e o sol, antes de qualquer intervenção de sistemas de climatização.



Figura 93 - Prédio habitacional em Braga, com grande incidência solar.

BIBLIOGRAFIA

Livros

BANHAM, Reyner - **The Architecture of the Well-tempered Environment**. Chicago : University of Chicago, 1969. 295 p. ISBN 0851390749.

A. BARBER, Daniel - **Modern Architecture and Climate: Design before Air Conditioning**. [S.l.] : Princeton University Press, 2020. 336 p. ISBN 978-0691170039.

BASILE, Salvatore - **Cool: How Air Conditioning Changed Everything**. [S.l.] : Fordham University Press, 2016. 288 p. ISBN 978-0823271788.

VAZ MALHEIRO, Ana [et al.] - **Portugal, Brasil, África: Urbanismo e Arquitetura - Do Ecletismo ao Modernismo**. Lisboa : Caleidoscópio Edição e Artes Gráficas, SA, 2013. ISBN 9789896582364.

CORBUSIER, Le - **Conferences De Rio - Le Corbusier Au Bresil - 1936**. [S.l.] : Flammarion, 2021. 375 p. ISBN 9782080257024.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 1. 211 p.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929- 1934**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 2. 199 p.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1934- 1938**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 3. 170 p.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1938- 1946**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 4. 196 p.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1946- 1952**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 5. 240 p.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1952- 1957**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 6. 217 p.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1957- 1965**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 7. 233 p.

CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1965- 1969**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach, 1936. vol. 8. 189 p.

CORBUSIER, Le - **Precisions On The Present State Of Architecture And City Planning**. Ed. lit. Tim Benton. [S.l.] : Park Books, 2015. 304 p. ISBN 9783906027654.

CORBUSIER, Le - **Vers une architecture**. Paris : Flammarion, 1995. ISBN 9782081217447.

FILIPOWICZ, Diane [et al.] - **Frank Lloyd Wright and Madison : eight decades of artistic and social interaction** [Em linha]. Ed. lit. Paul E. Sprague. [S.l.] : Chazen Museum of Art, 1990. 218 p. [Consult. 17 Fev. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://digital.library.wisc.edu/1711.dl/Arts.FLWMadison>>. ISBN 13-978-0932900227

FRAMPTON, Kenneth - **Modern Architecture: A Critical History**. [S.l.] : Thames & Hudson, 2020. 736 p. ISBN 9780500204443.

HESS, Alan ; WEINTRAUB, Alan - **Frank Lloyd Wright Natural Design Organic Architecture**. Nova Iorque : Rizzoli International Publications, Inc., 2012. ISBN 978-0-84783796-0.

HEYWOOD, Huw - **101 Reglas Básicas Para Una Arquitectura de Bajo Consumo Energético**. Trad. de Susana Landrove Bossut. Barcelona : Gili, 2015. 240 p. ISBN 13-978-8425228452.

PHILLIPE RAHM ARCHITECTS - **Constructed Atmospheres: Architecture as Meteorological Design**. Milano : Massimiliano Scuderi, 2020. ISBN 9798553125684.

TORRES CUECO, Jorge - **Le Corbusier: visiones de la técnica en cinco tiempos**. Barcelona : Fundación Caja de Arquitectos, 2004. ISBN 8493370118.

Artigos/Revistas

ARLIEN-SØBORG, Otto [et al.] - **Glaumbær Farm/Iceland - Aarhus School of Architecture** [Em linha]. [Consult. 21 Abr. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://aarch.dk/en/basp-studentwork-iceland/>>.

BANHAM, Reyner - Frank Lloyd Wright as Environmentalist. **Arts & Architecture**. (Set. 1966) 27-30.

CHESSA, Milena - Des serres en façade régulent le climat d'un hall d'exposition. **Le Moniteur**. 5408 (Jul. 2007) 38-40.

CPARLAND, Laura C. [et al.] - How the Romans got themselves into hot water: temperatures and fuel types used in firing a hypocaust. **Environmental Archaeology** [Em linha]. ISSN 1749-6314. 14:2 (Out. 2009) 176-183. [Consult. 18 Maio 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.1179/146141009x12481709928445>>.

DARMON, Olivier - **Archi pas chère : serre et habitat**. [S.l. : s.n.], 2012. 144 p. ISBN 978-2-7373-5709-1.

FERNÁNDEZ GALIANO, Luis - **Arquitectura: Cambio de Clima**. Madrid : Fundación Arquitectura y Sociedad. ISBN 978-84-617-5331-4.

FITCH, James Marston ; BRANCH, Daniel P. - Primitive Architecture and Climate. **Scientific American** [Em linha]. ISSN 0036-8733. 203:6 (Dez. 1960) 134-144. [Consult. 2 Fev. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.jstor.org/stable/24940726>>.

GONÇALVES, Helder ; MARIZ GRAÇA, João - **Conceitos bioclimáticos para os Edifícios em Portugal** [Em linha]. Amadora : Tipografia Peres, 2004. [Consult. 14 Abr. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://hdl.handle.net/10400.9/1323>>. ISBN 972-8268-3

house+home. (Jun. 1954).

house+home. (Mar. 1954).

HUBER, David - Game Changers 2016. **METROPOLIS**. (Jan. 2016) 80-87.

LEVINE, Neil - ABSTRACTION AND REPRESENTATION IN MODERN ARCHITECTURE: THE INTERNATIONAL STYLE of FRANK LLOYD WRIGHT. **AA Files** [Em linha]. 11 (1986) 3-21. [Consult. 11 Mar. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.jstor.org/stable/29543489>>.

MOREL CORRÊA, S.; ANZOLCH, R.; PEDROTTI, R. – Brise-soleil: princípios y transformación em la obra de Le Corbusier. In **Le Corbusier 50 años después** [Em linha]. València : Universitat Politècnica de València. [Consult. 21 Jan. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.4995/LC2015.2015>>. ISBN 9788490483732.

PAUKEN, Mike - Sleeping Soundly on Summer Nights. **ASHRAE Journal**. (Maio 1999) 43.

RAHM, Philippe - METEOROLOGICAL ENCYCLOPEDIA. **PRAXIS: Journal of Writing + Building** [Em linha]. 13 (2011) 103-111. [Consult. 12 Maio 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.jstor.org/stable/24329288>>.

REDONDO MORÁN, J. – Le Corbusier, Missenard et Le Climat. In **Le Corbusier 50 años después** [Em linha]. València : Universitat Politècnica de València. [Consult. 21 Jan. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.4995/LC2015.2015>>. ISBN 9788490483732.

REQUENA, I.; SIRET, D.; - Construcciones ambientales para el hábitat moderno: Le Corbusier y André Missenard. In **Le Corbusier 50 años después** [Em linha]. València : Universitat Politècnica de València. [Consult. 21 Jan. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.4995/LC2015.2015>>. ISBN 9788490483732.

SOUTHALL, R.; DIAZ, L.M. – Le Corbusier’s Cité de Refuge: historical & technological performance of the air exacte. In **Le Corbusier 50 años después** [Em linha]. València : Universitat Politècnica de València. [Consult. 21 Jan. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.4995/LC2015.2015>>. ISBN 9788490483732.

SYAHRIL KAMAL, Kamarul ; ABDUL DUL WAHAB, Lilawati ; CHE AHMAD, Asmalia - Climatic design of the traditional Malay house to meet the requirements of modern living. In **The 38th International Conference of Architectural Science Association**. [S.l.] : University Technology Mara.

Trade-Fair Hall in Paris. **Detail - Review of Architecture and Construction Details**. ISSN 16144600. (Ag. 2008) 363-368.

URBANO GUTIÉRREZ, Rosa - “Pierre, revoir tout le système fenêtre”: Le Corbusier and the development of glazing and air-conditioning technology with the Mur Neutralisant (1928-1933). In **Le Corbusier 50 años después** [Em linha]. València : Universitat Politècnica de València. [Consult. 21 Jan. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://doi.org/10.4995/LC2015.2015>>. ISBN 9788490483732.

Rahm, P. (2007). Form and Function Follow Climate. *AA Files*, (55), 2–11. <http://www.jstor.org/stable/29544645>

Sites

Domestic astronomy - Philippe Rahm architectes[Em linha]. [Consult. 27 Maio 2022]. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.philipperahm.com/data/projects/domesticastronomy/index.html>>.

http://mediation.centrepompidou.fr/education/ressources/ENS-architecture-Centre-Pompidou/comment_ca_fonctionne/p4.htm

KARLSSON, Gunnar - Iceland | History, Maps, Flag, Population, Climate, & Facts. In **Encyclopedia Britannica**[Em linha]. [S.l. : s.n.], 2021. [Consult. 21 Abr. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.britannica.com/place/Iceland>>.

Lycée Schorge [Em linha]. [Consult. 19 Maio 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://www.kerearchitecture.com/work/building/lycee-schorge>>.

Split time café© - Philippe Rahm architectes [Em linha]. [Consult. 21 Maio 2022]. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.philipperahm.com/data/projects/splittimescafe/index.html>>.

TED - **Diébédo Francis Kéré: How to build with clay... and community**[Video em linha]. 10 Dez. 2013. [Consult. 12 Maio 2022]. Disponível em WWW:

<URL:<https://www.youtube.com/watch?v=MD23gllr52Y>>.

Thermal conductivity - Philippe Rahm architectes[Em linha]. [Consult. 27 Maio 2022]. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.philipperahm.com/data/projects/thermalconductivity2/index.html>>.

WORLD MAP OF THE KÖPPEN-GEIGER CLIMATE CLASSIFICATION UPDATED [Em linha]. [Consult. 12 Maio 2022]. Disponível em WWW:

<URL:<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>>.

MARK, Joshua J. - Aristarchus of Samos. In **World History Encyclopedia** [Em linha]. [S.l. : s.n.], 2022. [Consult. 6 Abr. 2022]. Disponível em

WWW:<URL:https://www.worldhistory.org/Aristarchus_of_Samos>.

VAN HELDEN, Albert - Galileo | Biography, Discoveries, Inventions, & Facts.

In **Encyclopedia Britannica** [Em linha]. [S.l. : s.n.], 2022. [Consult. 6 Abr. 2022].

Disponível em WWW: <URL:<https://www.britannica.com/biography/Galileo-Galilei>>.

LEWIS, Elspeth - **How Galileo's telescope changed our view of the Solar System forever - The National Space Centre** [Em linha]. 9 Maio 2019. [Consult. 14 Abr. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<https://spacecentre.co.uk/blog-post/galileos-telescope-changed-our-view-of-the-solar-system/>>.

WESTFALL, Richard S. - Isaac Newton | Biography, Facts, Discoveries, Laws, & Inventions. In **Encyclopedia Britannica** [Em linha]. [S.l. : s.n.], 2022. [Consult.

16 Abr. 2022]. Disponível em WWW:
<URL:<https://www.britannica.com/biography/Isaac-Newton>>.

BUIS, Alan - **Milankovitch (Orbital) Cycles and Their Role in Earth's Climate – Climate Change: Vital Signs of the Planet** [Em linha]. 27 Fev. 2020. [Consult. 11 Maio 2022]. Disponível em WWW:
<URL:<https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/>>.

CRÉDITOS DE IMAGENS

Figura 1 – Desenhos aquarela de Galileo Galilei, durante a sua observação à lua.
Outono 1609

Fonte: <https://ourplnt.com/moon-drawings-galileo-galilei/>

Figura 2 – Relação da Terra com o Sol

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 3 – Inclinação da Terra

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 4 – Estações do ano

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 5 – Mapa mundial climático Köppen-Geiger, versão atualizada de 2006

Fonte: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>

Figura 6 – Keldur Turf House, Islândia

Fonte: <https://icelandtravelguide.is/locations/keldur-turf-houses/>

Figura 7 – Malay Kedah House, Malásia

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/rizalrashid/5427905149>

Figura 8 – Vista exterior, *Robie House*.

Fonte: <https://landmarkhunter.com/146123-frederick-robie-house/>

Figura 9 – Corte, *Robie House*.

Fonte:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5e/Frederick_C._Robie_House%2C_5757_Woodlawn_Avenue%2C_Chicago%2C_Cook_County%2C_IL_HABS_ILL%2C16-CHIG%2C33-%28sheet_5_of_14%29.png

Figura 10 – Esquema de princípios de ventilação, *Robie House*.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 11 – Plantas, Jacobs House II,

Fonte: FILIPOWICZ, Diane [et al.] - **Frank Lloyd Wright and Madison : eight decades of artistic and social interaction** [Em linha]. Ed. lit. Paul E. Sprague. [S.l.] : Chazen Museum of Art, 1990. 218 p. [Consult. 17 Fev. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://digital.library.wisc.edu/1711.dl/Arts.FLWMadison>>. ISBN 13-978-0932900227.

Figura 12 – Fachada Norte e Sul, *Jacobs House II*.

Fonte: FILIPOWICZ, Diane [et al.] - **Frank Lloyd Wright and Madison : eight decades of artistic and social interaction** [Em linha]. Ed. lit. Paul E. Sprague. [S.l.] : Chazen Museum of Art, 1990. 218 p. [Consult. 17 Fev. 2022]. Disponível em WWW: <URL:<http://digital.library.wisc.edu/1711.dl/Arts.FLWMadison>>. ISBN 13-978-0932900227.

Figura 13 – Princípios bioclimáticos da *Jacobs House II*.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 14 – Exposição solar *Jacobs House II*.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 15 – *Walker House*.

Fonte: A dramatic lesson in tight planning: how can a tiny house be? **house+home**. (Mar. 1954).

Figura 16 – Planta, *Walker House*.

Fonte: A dramatic lesson in tight planning: how can a tiny house be? **house+home**. (Mar. 1954).

Figura 17 – Ventilação na *Walker House*.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 18 – Interior da *Harold Price Sr. House*.

Fonte: <https://franklloydwright.org/site/harold-price-sr-house/>

Figura 19 – Fachada Norte, *Harold Price Sr. House*.

Fonte: <https://franklloydwright.org/site/harold-price-sr-house/>

Figura 20 – Ventilação e arrefecimento evaporativo, *Price House*.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 21 – Vista exterior, *Gillin House*.

Fonte: <https://dome.mit.edu/handle/1721.3/32792>

Figura 22 – Sala comum da *Gillin House*.

Fonte: <https://dougnewby.com/home/9400-rockbrook-drive-dallas-texas/>

Figura 23 – Esquema de princípio de ventilação da *Gillin House*.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 24 – *Haute Cour*, Chandigarh.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=4826&sysLanguage=en-en&itemPos=59&itemCount=79&sysParentName=&sysParentId=64>

Figura 25 - Le poème de l'angle droit, Le Corbusier, 1955.

Fonte:

http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=6474&sysLanguage=fr-fr&itemPos=19&itemSort=fr-fr_sort_string1+&itemCount=47&sysParentName=&sysParentId=25

Figura 26 – Fachada Norte, *Villa Schwob*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5496&sysLanguage=fr-fr&itemPos=6&itemCount=79&sysParentName=home&sysParentId=64>

Figura 27 – Fachada Sul, *Villa Schwob*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5496&sysLanguage=fr-fr&itemPos=6&itemCount=79&sysParentName=home&sysParentId=64>

Figura 28 – Exposição solar de inverno, *Villa Schwob*.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 29 – *Maisons Domi-no*. Oeuvre complète de 1910- 1929.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. 212 p. 23

Figura 30 – Proposta para a *Villa Mayer*, numa carta à proprietária. Oeuvre complète de 1910- 1929.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. 212 p. 23

Figura 31 – Sala comum de uma das casas do projeto *Maisons de la Weissenhof-Siedlung*.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. 212 p. 153

Figura 32 – *Maisons de la Weissenhof-Siedlung*. Oeuvre complète de 1910- 1929.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. 212 p. 153

Figura 33 – Esquema de princípio da exposição solar e da *serre-chaude*.

Fonte: Realizado pelo autor.

Figura 34 – Planta da cobertura e perspectivas, *Villa Savoye*. Oeuvre Complete 1910- 1929.

Fonte: Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. 212 p. 187

Figura 35 – Fachada Sul do *Palais du Centrosoyus*.

Fonte:

http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=4689&sysLanguage=en-en&itemPos=12&itemSort=en-en_sort_string1%20&itemCount=79&sysParentName=&sysParentId=64

Figura 36 – Esquízo do princípio do *mur-neutralisant* e da *respiration exacte*. Le Corbusier.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Precisions on the Present State of Architecture and City Planning**. Zurich : Park Books, 2015. 405 p. ISBN 978-3-906027-65-4. p.65

Figura 36 – *Mur-neutralisant* e *respiration exacte*, no *Centrosoyus*.

Fonte: TORRES CUECO, Jorge - **Le Corbusier: visiones de la técnica en cinco tiempos**. Barcelona : Fundación Caja de Arquitectos, 2004. 239 p. ISBN 84-933701-1-8.

Figura 37 – Esquema do *mur-neutralisant* e da *respiration exacte*.

Fonte: livro Le Corbusier

Figura 38 – Cortes, *Villa Baizeau*. Oeuvre complète de 1910- 1929.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1910- 1929**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 1. 215p. p. 176

Figura 39 - *Villa Baizeau* em construção.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5341&sysLanguage=en-en&itemPos=29&itemCount=79&sysParentName=&sysParentId=64>

Figura 40 – *Cité de Refuge*.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929- 1934**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 2. 215p. p.79

Figura 41 – Fachada Sul, *Immeuble Clarté*.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929- 1934**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 2. 215p. p.67

Figura 42 – Plantas e cortes. *Lotissement destiné à la main-d'oeuvre auxiliaire*. Oeuvre complète de 1929- 1934.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929- 1934**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 2. 215p. p.196

Figura 43 – Maqueta das casas pré-fabricadas, *Lotissement Durand*.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929- 1934**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 2. 215p. p.166

Figura 44 – Maqueta da *Maison locative*. Fachada Norte e Oeste.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929- 1934**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 2. 215p. p.168

Figura 45 – Fachada com *brise-soleil*, *Unité de Habitation*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5234&sysLanguage=en-en&itemPos=45&itemCount=79&sysParentName=home&sysParentId=64>

Figura 46 – *Unité de Habitation*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5234&sysLanguage=en-en&itemPos=45&itemCount=79&sysParentName=home&sysParentId=64>

Figura 47 – Plano urbano de Chandigarh. Oeuvre complète de 1946- 1952.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1946- 1952**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 5. 240p. p.117

Figura 48 – Esquiços para o *Palais de l'Assemblée*. Oeuvre complète de 1946- 1952.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1946- 1952**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 5. 240p. p.120

Figura 49 – Luz indireta no interior do *Palais de l'Assemblée*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5024&sysLanguage=en-en&itemPos=41&itemCount=78&sysParentId=64&sysParentName=>

Figura 50 – Fachada Sul, *Palais de l'Assemblée*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5024&sysLanguage=en-en&itemPos=41&itemCount=78&sysParentId=64&sysParentName=>

Figura 51 – Fachada Este, *Palais de l'Assemblée*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5024&sysLanguage=en-en&itemPos=41&itemCount=78&sysParentId=64&sysParentName=>

Figura 52 – Corte e Alçados do *Palais de l'Assemblée*. Oeuvre complète de 1952- 1957.

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1952- 1957**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 6. 217p. p.101

Figura 53 – Fachada Norte, *Haute Cour*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=4826&sysLanguage=en-en&itemPos=20&itemCount=78&sysParentId=64&sysParentName=>

Figura 54 – Fachada Norte, *Haute Cour*.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=4826&sysLanguage=en-en&itemPos=20&itemCount=78&sysParentId=64&sysParentName=>

Figura 55 – Interior do *Palais des Filateurs*.

Fonte:

http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5037&sysLanguage=en-en&itemPos=45&itemSort=en-en_sort_string1%20&itemCount=79&sysParentName=&sysParentId=64

Figura 56 – Fachada com incidência solar e *brise-soleil*. *Palais des Filateurs*.

Fonte:

http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5037&sysLanguage=en-en&itemPos=45&itemSort=en-en_sort_string1%20&itemCount=79&sysParentName=&sysParentId=64

Figura 57 – Planta 2º piso, *Palais des Filateurs*. Oeuvre complète de 1952- 1957

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1952- 1957**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 6. 217p. p.101

Figura 58 – Corte, *Palais des Filateurs*. Oeuvre complète de 1952- 1957

Fonte: CORBUSIER, Le - **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1952- 1957**. 1.a ed. Zurich : Éditions d'Architecture Erlenbach. vol. 6. 217p. p.101

Figura 59 – *Grille Climatique*.

Fonte: Fondation Le Corbusier

Figura 60 – Figura 94 - Um dos desenhos da *Grille Climatique*, relevante aos ventos predominantes.

Fonte:

<http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=5767&sysLanguage=en-en&itemPos=53&itemCount=215&sysParentId=65&sysParentName=home>

Figura 61 – Promoção da climatização do Teatro Rivoli.

Fonte: <https://www.williscarrier.com/1923-1929.php>

Figura 62 – O primeiro sistema de ar-condicionado de Willis Carrier, para a empresa de Litografia, em 1902.

Fonte: <https://www.williscarrier.com/1876-1902.php>

Figura 63 – Primeiro Chiller da autoria de Willis Carrier, em 1922.

Fonte: <https://www.williscarrier.com/1923-1929.php>

Figura 64 – Projeto de ar-condicionado para o *Milam Building*. Planta e corte com condutas e teto falso.

Fonte: BANHAM, Reyner - **The Architecture of the Well-tempered Environment**.

Chicago : University of Chicago, 1969. 295 p. ISBN 0851390749. p.179

Figura 65 – Proposta de Willis Carrier, de um sistema de ar-condicionado para um teatro, com um novo princípio de circulação de ar.

Fonte: CARRIER ENGINEERING CORPORATION - Manufactured Weather from Los Angeles to Broadway. **Theatre Cooling**. (Out. 1925).

Figura 66 – Unidade de ar-condicionado de janela da General Electric, de 1940.

Fonte: <https://air-conditioner-man.tumblr.com/post/98112964439/1932-thorne-room-air-conditioner-first-window-air>

Figura 67 – Modelos de ar-condicionado no mercado, em 1952. Revista House+Home Junho de 1952.

Fonte: 42 pages on air conditioning. **House+Home**. 1:6 (Jun. 1952).

Figura 68 – Exemplo de implementação do sistema de ar-condicionado, 1952. Revista House+Home Junho de 1952.

Fonte: 42 pages on air conditioning. **House+Home**. 1:6 (Jun. 1952).

Figura 69 – Vista superior *Centre Pompidou*.

Fonte: <https://www.atlasofplaces.com/architecture/centre-pompidou/>

Figura 70 – Vista área *Centre Pompidou*.

Fonte: <https://www.atlasofplaces.com/architecture/centre-pompidou/>

Figura 71 – *Centre Pompidou*.

Fonte: <https://www.atlasofplaces.com/architecture/centre-pompidou/>

Figura 72 – Parede Trombe.

Fonte: Realizado pelo autor

Figura 73 – Escola Secundária de Dano.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/dano-secondary-school>

Figura 74 – Interior da Escola Secundária de Dano.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/dano-secondary-school>

Figura 75 – Desenho de Francis Kéré com princípio de ventilação, Escola Secundária de Dano.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/dano-secondary-school>

Figura 76 – Diagrama com princípio de ventilação, Escola Secundária *Lycée Schorge*.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/lycee-schorge>

Figura 77 – Interior da Escola Secundária *Lycee Schorge*, com chaminé de ventilação.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/lycee-schorge>

Figura 78 – Diagrama com princípio de ventilação, *Startup Lions Campus*.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/startup-lions-campus>

Figura 79 – Fachada Sul, *Startup Lions Campus*.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/startup-lions-campus>

Figura 80 – Fachada Norte, *Startup Lions Campus*.

Fonte: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/startup-lions-campus>

Figura 81 – Vista exterior, *Maison Latapie*.

Fonte: <https://www.atlasofplaces.com/architecture/maison-latapie/>

Figura 82 – Interior da fachada estufa, *Hall d'Exposition Paris Nord*.

Fonte: <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=11>

Figura 83 – Interior, *Hall d'Exposition Paris Nord*.

Fonte: <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=11>

Figura 84 – Princípio bioclimática da fachada, *Hall d'Exposition Paris Nord*.

Fonte: <http://lacatonvassal.com/index.php?idp=11&idi=702>

Figura 85 – Diagrama do princípio do projeto, *Transformation de 530 logements*.

Fonte: <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>

Figura 86 – Fase de construção, *Transformation de 530 logements*.

Fonte: OSWALT, Philipp - Designing the Brief. **ARCH+**. (2019) 65-73.

Figura 87 – Interior *Maison Latapie*.

Fonte: <https://www.atlasofplaces.com/architecture/maison-latapie/>

Figura 88 – Vista exterior, Split Time Café.

Fonte: <http://www.philipperahm.com/data/projects/splittimescafe/index.html>

Figura 89 – Planta, Split Time Café.

Fonte: <http://www.philipperahm.com/data/projects/splittimescafe/index.html>

Figura 90 – Planta, Escola Primária em Neuveville.

Fonte: <http://www.philipperahm.com/data/projects/thermalconductivity2/index.html>

Figura 91 – Corte, *Domestic Astronomy*.

Fonte: <http://www.philipperahm.com/data/projects/domesticastronomy/index.html>

Figura 92 – Interior, *Domestic Astronomy*.

Fonte: <http://www.philipperahm.com/data/projects/domesticastronomy/index.html>

Figura 93 – Prédio habitacional em Braga, com grande incidência solar.

Fonte: Foto do autor.