



Nuno Filipe Salgado Vieira

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Painéis pré-fabricados para soluções de construção modular em Cabo Verde

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Urbanismo e Transportes

Orientador: Professor Doutor Miguel Pires Amado,
Professor Associado com Agregação, IST UL
Co-orientador: Professor Doutor Fernando Farinha da Silva
Pinho, Professor Auxiliar Faculdade Ciências e Tecnologia da UNL

Júri:

Presidente: Professor Doutor Mário Vicente da Silva (Professor Auxiliar)
Arguente: Professor Doutor Alberto Cruz Reaes Pinto (Professor Catedrático na Universidade Lusíada de Lisboa)
Vogal: Professor Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho (Professor Auxiliar)



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2016

“Copyright” Nuno Filipe Salgado Vieira, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologias e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dissertação redigida conforme o Acordo Ortográfico de 1945, aprovado pelo Decreto n.º 35.228, de 8 de Dezembro.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Miguel Pires Amado pela orientação ao longo de todo este trabalho. Pelo estímulo transmitido, pelo tempo despendido, pela confiança que demonstrou no meu trabalho, mas acima de tudo, pelo conhecimento partilhado ao longo dos últimos anos, que contribuirão para que seja um melhor profissional.

Ao Professor Doutor Fernando Pinho não só pela co-orientação e conselhos, como pela paciência com todo o processo inerente a esta dissertação.

A todos os meus colegas e amigos que me acompanharam ao longo deste processo, não só aos que deram o apoio moral na hora certa como aos companheiros de noitada de trabalho, com os quais partilhei um período de ausência de vida social.

Acima de tudo aos meus pais que me acompanharam ao longo de todo o meu percurso académico, me motivaram sempre a superar as dificuldades e me apoiaram em todos os momentos.

Resumo

A carência de habitação condigna em países africanos subdesenvolvidos torna indispensável uma mudança de mentalidade no que toca à abordagem a esta problemática. De forma a encontrar soluções que respondam a esta realidade urgente, é necessário criar soluções rápidas e economicamente viáveis.

Cabo Verde é um destes países. O seu clima único subtropical seco, torna indispensável uma resolução cuidada da habitação, de forma a garantir o conforto dos ocupantes.

A pensar nesta problemática, esta dissertação aborda o tema da pré-fabricação e da construção modular, como uma possível solução para o caso de Cabo verde, mais concretamente para a cidade de Praia onde se encontra o maior bairro informal de todo o país.

A presente dissertação promove uma avaliação das condições técnicas e de conforto exigidas a um painel de parede pré-fabricado, de forma que este possa dar origem a uma solução modular que cumpra os requisitos de uma habitação condigna e possa conduzir gradualmente ao desaparecimento dos bairros informais.

Após a avaliação dos requisitos e das condições de conforto impostas ao painel pré-fabricado, foi efectuada uma síntese dos materiais endémicos do arquipélago de Cabo-Verde, assim como a sua disponibilidade como recursos com capacidade de dar resposta às exigências funcionais dos painéis de parede, permitindo desta forma a criação de um painel composto por materiais locais, não gerando necessidades de importação de material para a sua produção.

Estudados os referidos pontos, é proposto um modelo de construção modular evolutiva, apontando a composição mínima dos elementos constituintes do painel pré-fabricado, de encontro às necessidades e exigências vinculadas ao painel.

A dissertação pretende abrir caminho ao desenvolvimento e dimensionamento de um módulo habitacional técnica, económica e socialmente ponderado, de forma a alcançar uma solução viável para a construção de habitação social, com condições mínimas à habitabilidade, promovendo um desmantelamento progressivo das habitações de génese informal.

Palavras-chave: habitação evolutiva; construção modular; construção pré-fabricada; construção sustentável; conforto higrotérmico; Cabo-Verde

Abstract

The lack of adequate housing in underdeveloped African countries brings an indispensable mentality change regarding the approach of this problem. In order to find solutions to answer this urgent reality, it's necessary to develop quick and economically viable solutions.

Cape Verde is one of this countries. Its unique dry subtropical climate turns indispensable a careful resolution of the housing, in order to ensure the comfort of the occupants.

By thinking in this problem, this master thesis approach the subject of prefabrication and modular construction like a possible solution for Cape Verde situation, more accurately to Praia, where we can find the biggest slum in the country.

This master thesis evaluates the technical and the thermal conditions required to a prefabricated wall panel, in order to create a modular solution that meets the requirements of an adequate housing solution and gradually leads to the disappearance of informal settlements.

Before assessing the requirements and comfort conditions imposed by the prefabricated panel, a summary of the endemic materials of the islands of Cape Verde has been made, as well as its availability as a resource with the capacity to answer the functional requirements of the wall panel, allowing the development of a panel composed by local materials, without generating a necessity to import materials to their production.

Before studying these subjects, an adaptative modular construction model is proposed, pointing to a minimal composition of the elements of prefabricated panels, meeting the needs and requirements linked to the panel.

The thesis aims to pave the way for the development and design of an habitational module technical, economical and socially weighted, in order to achieve a viable solution for the construction of social housing with minimum conditions for habitability, promoting the gradual disassembling of informal housing dwellings.

Keywords: adaptative housing; modular construction; prefabricated construction; sustainable construction; thermal confort; Cape Verde

Índice de Matérias

Capítulo 1

Introdução	1
1.1. Enquadramento e Justificação do Tema	1
1.2. Objectivo do Estudo	4
1.2.1. Objectivos Gerais	4
1.2.2. Objectivos Específicos	4
1.3. Questões de Investigação	5
1.4. Metodologia de Trabalho	5
1.5. Estrutura da Dissertação	5

Capítulo 2

Enquadramento teórico	7
2.1. Conceitos de pré-fabricação	7
2.2. Pré-fabricação	7
2.2.1. Sistema de pré-fabricação	8
2.2.2. Construção pré-fabricada	9
2.3. A origem da pré-fabricação	10
2.3.1. Breve nota histórica	11
2.4. A pré-fabricação aplicada à construção	12
2.5. Construção modelar de habitação	27
2.5.1. Aplicações	32

Capítulo 3

A parede nas soluções de pré-fabricação	37
3.1. O painel de parede como elemento gerador de habitação	37
3.1.1. Potencial de modelar a partir de um painel de parede	37
3.1.2. Formas de agregação dos painéis – ligação	38
3.2. Potencial das diferentes formas de ligação	43
3.3. Problemas que podem surgir nos pontos de ligação entre painéis	44
3.4. Requisitos de desempenho das soluções de pré-fabricação de painéis de parede....	45

3.5.	Modos de relação dos materiais componentes das paredes modulares pré-fabricadas	57
3.6.	Materiais disponíveis no mercado-alvo de passível aplicação em construção.....	59
3.7.	Disponibilidade do recurso	63
Capítulo 4		
Composição do modelo de habitação modular evolutiva.....		65
4.1.	Método construtivo	65
4.2.	Composição do módulo habitacional.....	66
4.2.1.	Requisitos dimensionais do módulo habitacional.....	66
4.2.2.	Geometria adoptada	68
4.2.3.	Orientação do módulo habitacional	70
4.2.4.	Vãos.....	71
4.2.5.	Materiais constituintes dos painéis	82
4.2.6.	Dimensão das paredes pré-fabricadas	92
4.2.7.	Ligações	102
4.3.	Síntese.....	105
Capítulo 5		
Conclusões de desenvolvimentos futuros		107
5.1.	Conclusões	107
5.2.	Desenvolvimentos futuros	107
Bibliografia		109

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Localização Geográfica de Cabo Verde	2
Figura 1.2 – Localização Geográfica de Praia – Ilha de Santiago – Cabo Verde	3
Figura 1.3 – Esquema da estrutura da dissertação	6
Figura 2.1 – Evolução das preocupações no sector da construção	13
Figura 2.2 – Período típico de construção, em percentagem da Construção Tradicional.....	15
Figura 2.3 – Período típico para tornar um edifício estanque, em percentagem da Construção Tradicional	15
Figura 2.4 – Número típico de dias de trabalho em estaleiro, em percentagem da Construção Tradicional	16
Figura 2.5 – Benefícios financeiros decorrentes da maior rapidez de construção e da redução do trabalho em estaleiro, em percentagem da Construção Tradicional.....	20
Figura 2.6 – Proporção de custos das várias técnicas de construção.....	20
Figura 2.7 – Poupança de tempo com a construção modular	28
Figura 2.8 – Curva de aprendizagem.....	30
Figura 2.9 – Da construção à actualidade do Habitat-67.....	33
Figura 2.10 – Aspecto das Torres ao longo dos anos e ilustração esquemática dos módulos.....	34
Figura 2.11 – Creche modular em Massachusetts, USA.....	34
Figura 2.12 – Construção da creche – Transporte e colocação dos módulos pré-fabricados	35
Figura 2.13 – Salas de aula temporárias pré-fabricadas em Needham, Massachusetts	35
Figura 2.14 – Colocação dos módulos pré-fabricados	36
Figura 2.15 – Conjunto de habitações modulares pré-fabricadas após a sua montagem no local.....	36
Figura 3.1 – Representação esquemática de um painel pré-fabricado do tipo Sandwich	37
Figura 3.2 – Ligações de painéis do tipo sandwich – encaixe de juntas reforçado com parafusos	39
Figura 3.3 – Ligações de painéis dispostos em "L" e em "T"	40
Figura 3.4 – Esquema representativo dos tipos de painel sandwich por caracterização de material	41
Figura 3.5 – Exemplos comuns de diferentes sistemas de ligação interior dos painéis.....	42
Figura 3.6 – Dados relativos à temperatura média mensal em Praia.....	45
Figura 3.7 – Dados relativos à humidade relativa média mensal em Praia.....	46

Figura 3.8 – Dados relativos à insolação média mensal em Praia	46
Figura 3.9 – Dados relativos à velocidade do vento média mensal em Praia	47
Figura 3.10 – Dados relativos à precipitação média anual em Praia.....	47
Figura 3.11 – Diagrama Bioclimático de Givoni	48
Figura 3.12 – Juntas de ligação horizontais e verticais entre painéis pré-fabricados.....	52
Figura 3.13 – Execução incorrecta de juntas	53
Figura 3.14 – Corte de junta horizontal – Esquema de junta de drenagem	54
Figura 3.15 – Planta de junta vertical – Esquema de junta de drenagem	54
Figura 3.16 – Corte de junta horizontal – Esquema tridimensional de juntas de drenagem	54
Figura 3.17 – Corte de junta horizontal – pormenor de aplicação de selante e do cordão de neopolene	55
Figura 3.18 – Planta de junta vertical.....	55
Figura 3.19 – Corte de junta horizontal de dois estágios	56
Figura 3.20 – Representação da largura e profundidade da junta.....	57
Figura 4.1 – Esquema representativo dos sub-módulos pré-fabricados	65
Figura 4.2 – Tipologia típica da habitação de tipo informal em Cabo verde	66
Figura 4.3 – Agregação necessária à composição de uma habitação de tipologia	69
Figura 4.4 – Possível evolução da tipologia da habitação	70
Figura 4.5 – Direcção dos ventos predominantes durante os vários meses do ano	70
Figura 4.6 – Orientação prevista para o módulo habitacional.....	71
Figura 4.7 – Sistema de ventilação natural - ventilação cruzada.....	73
Figura 4.8 – Possível disposição dos vãos nas diferentes fachadas do módulo habitacional base	74
Figura 4.9 – Posições relativas do Sol ao longo do ano em Praia.....	75
Figura 4.10 – Ângulos de incidência do sol sobre o vão envidraçado	75
Figura 4.11 – Ângulo α máximo e mínimo atingido pelo Sol ao longo do ano às 13h30m	76
Figura 4.12 – Esquema da incisão da luz solar sobre os vãos envidraçados nas fachadas Nordeste e Sudoeste (ângulos α)	77
Figura 4.13 – Marcação das fachadas na carta solar	78
Figura 4.14 - Medição dos ângulos γ_1 e γ_2 na carta solar para as fachadas Noroeste e Sudoeste	78
Figura 4.15 – Marcação dos ângulos de incidência γ_1 e γ_2 sobre o vão envidraçado	79
Figura 4.16 – Marcação do ângulo de incidência γ mais gravoso sobre o vão envidraçado	79

Figura 4.17 – Esquema das palas de sombreamento horizontal tendo em conta o ângulo γ mais gravoso.....	80
Figura 4.18 – Possível solução de palas de sombreamento para os painéis-tipo.....	80
Figura 4.19 – Incidência horizontal do Sol nos vãos envidraçados das fachadas Sudeste e Noroeste na hora de maior calor no mês de Setembro	81
Figura 4.20 – Esquema das palas verticais nos vãos a Noroeste e a Sudeste.....	81
Figura 4.21 – Camadas constituintes do painel de parede pré-fabricado	82
Figura 4.22 – Camadas constituintes do painel pré-fabricado para laje de cobertura	83
Figura 4.23 – Imagem representativa de argila expandida com ligante e sem ligante.....	83
Figura 4.24 – Imagem representativa de fibra de vidro e lã de vidro.....	84
Figura 4.25 – Imagens representativas de lã de rocha.....	84
Figura 4.26 – Imagens representativas de bagaço de cana-de-açúcar.....	85
Figura 4.27 – Imagens representativas de miolo de milho e casca de milho	86
Figura 4.28 – Imagens representativas de fibra de banana	87
Figura 4.29 – Imagens representativas de fibra de sisal	87
Figura 4.30 – Imagem representativa de palha	88
Figura 4.31 – Imagens representativas de fibra de coco.....	89
Figura 4.32 – Imagem representativa de fibra de tamareira	89
Figura 4.33 – Imagem representativa de cimento.....	90
Figura 4.34 – Imagens representativas de cordão de neoplene e de selante de juntas de poliuretano, barreira pára-vapor e membrana impermeabilizante	92
Figura 4.35 – Identificação dos elementos construtivos a considerar no cálculo da massa térmica de uma fracção autónoma	94
Figura 4.36 – Exemplos de tipologias da divisão, consoante a fronteira exterior considerada, para o caso 1:1:0, 1:2:0 e 1:3:0 (Painel com vão para janela : Painel simples sem vão : Painel com vão para porta)	96
Figura 4.37 – Representação esquemática das diferentes áreas dos painéis	98
Figura 4.38 – Esquemas de ligação dos materiais constituintes dos painéis pré-fabricado em corte	102
Figura 4.39 – Esquemas de ligação dos materiais constituintes dos painéis pré-fabricados em 3D	102
Figura 4.40 – Esquema do sistema de encaixe entre painéis	103
Figura 4.41 – Esquema do sistema de fixação de painéis planares.....	103

Figura 4.42 – Esquema do sistema de fixação de painéis perde canto	104
Figura 4.43 – Colocação de isolamento na junta entre painéis	104
Figura 4.44 – Aspecto final possível dos sub-módulos conjugados – Tipologia T1	105

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Desempenho ambiental qualitativo da Pré-fabricação de acordo com alguns indicadores.....	18
Tabela 3.1 – Dados das médias mensais mais elevadas, relativos a temperatura (T) e humidade relativa (HR) referentes aos mesmos	49
Tabela 3.2 – Soluções a adoptar para garantia do conforto térmico ao longo do ano – Caso 1, 2 e 3	50
Tabela 3.3 – Síntese das soluções apontadas para o caso 1, 2 e 3	50
Tabela 3.4 – Dimensionamento das juntas de painéis pré-fabricados	57
Tabela 3.5 – Disponibilidade de recursos no arquipélago de Cabo Verde para utilização em Construção.....	63
Tabela 4.1 – Dimensões mínimas exigidas pelo RGEU	66
Tabela 4.2 – Área bruta de construção, máxima e mínima, consoante as diferentes tipologias de unidade habitacional.....	67
Tabela 4.3 – Tipos de transporte rodoviário para os módulos pré-fabricados	68
Tabela 4.4 – Ângulo de incidência do Sol (α) nas Fachadas Norte (Junho e Julho) e Sul (Janeiro e Dezembro), nas horas de maior calor	76
Tabela 4.5 – Ângulos de incidência do Sol (γ_1 e γ_2) nas Fachadas Norte (Junho e Julho) e Sul (Janeiro e Dezembro), nas horas de maior calor	79
Tabela 4.6 – Características técnicas do material – Argila expandida	83
Tabela 4.7 – Características acústicas do material – Argila expandida	84
Tabela 4.8 – Características técnicas do material – Lã de vidro	84
Tabela 4.9 – Características acústicas do material – Lã de vidro	84
Tabela 4.10 – Características técnicas do material – Lã de rocha	85
Tabela 4.11 – Características acústicas do material – Lã de rocha	85
Tabela 4.12 – Características técnicas do material – Bagaço de cana-de-açúcar.....	85
Tabela 4.13 – Características acústicas do material – Bagaço de cana-de-açúcar.....	85
Tabela 4.14 – Características técnicas do material – Espiga de milho	86
Tabela 4.15 – Características acústicas do material – Espiga de milho	86
Tabela 4.16 – Características técnicas do material – Fibra de banana.....	87
Tabela 4.17 – Características acústicas do material – Fibra de banana.....	87
Tabela 4.18 – Características técnicas do material – Fibra de sisal.....	88

Tabela 4.19 – Características acústicas do material – Fibra de sisal.....	88
Tabela 4.20 – Características técnicas do material – Palha.....	88
Tabela 4.21 – Características técnicas do material – Fibra de coco	89
Tabela 4.22 – Características acústicas do material – Fibra de coco	89
Tabela 4.23 – Características técnicas do material – Fibra de tamareira.....	89
Tabela 4.24 – Características acústicas do material – Fibra de tamareira.....	90
Tabela 4.25 – Classes de inércia térmica interior	93
Tabela 4.26 – Regras a aplicar no cálculo dos valores da massa superficial útil dos elementos construtivos	95
Tabela 4.27 – Factores de redução da massa superficial para elementos do tipo EL1, com isolamento térmico.....	95
Tabela 4.28 – Síntese da espessura de isolamento térmico e conseqüente espessura máxima para a camada de betão armado exterior, para os casos de melhor desempenho térmico	99
Tabela 4.29 – Características dimensionais possíveis para as paredes pré-fabricadas constituintes de um módulo habitacional de forma rectangular	101
Tabela 4.30 – Áreas relativas às diferentes tipologias da habitação.....	101

Lista de Anexos

Anexo A – Síntese das vantagens e desvantagens da aplicação da construção modular	115
Anexo B – Dados climáticos: avaliação mensal do conforto higotérmico no interior do edificado pelo Método de Givoni	119
Anexo C – Resultados mensais da avaliação do conforto térmico no interior do edificado pelo método de Givoni – Caso 1	123
Anexo D – Resultados mensais da avaliação do conforto térmico no interior do edificado pelo método de Givoni – Caso 2	139
Anexo E – Resultados mensais da avaliação do conforto térmico no interior do edificado pelo método de Givoni – Caso 3	153
Anexo F – Trajecto diário do Sol ao longo do ano em Praia	167
Anexo G – Folha da folha de cálculo da espessura mínima do isolamento térmico e das camadas de betão para os painéis.....	171
Anexo H – Síntese de resultados – Cálculo da espessura do isolamento térmico e de betão para os painéis.....	175
Anexo I – Folha de cálculo da inércia térmica para as diferentes tipologias de divisão	179
Anexo J – Espessuras equivalentes à espessura de betão armado no que toca à resistência térmica	183

Lista de Acrónimos

CII	<i>Construction Industry Institute</i>
E	Este
EC	Estação das chuvas
EL1	Elemento 1
EL2	Elemento 2
EL3	Elemento 3
ES	Estação seca
EUA	Estados Unidos da América
FRP	<i>Fiber Reinforced Polymer</i>
GRCV	Governo da República de Cabo Verde
HR	Humidade relativa
IFH	Instituto de Formação para o Desenvolvimento Humano
INE	Instituto Nacional de Estatística
I.S.	Instalação sanitária
MAHOT CV	Ministério do Ambiente, Habitação e Ordenamento do Território
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
N	Norte
NE	Nordeste
NO	Noroestes
O	Oeste
PDMP	Plano Director Municipal da Praia
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RGEU	Regulamento Geral das Edificações Urbanas
RRAE	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
S	Sul
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
T	Temperatura

Lista de Equações

- 4.1 – Inércia térmica (Kg/m^2)
- 4.2 – Condutibilidade térmica ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
- 4.3 – Resistência térmica ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)
- 4.4 – Condutibilidade térmica média ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
- 4.5 – Condutibilidade térmica ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
- 4.6 – Condutibilidade térmica ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
- 4.7 – Condutibilidade térmica média ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
- 4.8 – Condutibilidade térmica média ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
- 4.9 – Primeira equação do sistema de equações
- 4.10 – Segunda equação do sistema de equações

Lista de Símbolos

A	Área (m^2)
B	Desenvolvimento linear (m)
e	Espessura (m)
I_t	Inércia Térmica (kg/m^2)
L	Largura
m	Massa superficial (kg/m^2)
M_s	Massa superficial útil (kg/m^2)
r	Factor de redução da massa superficial
R	Resistência térmica ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)
R_{se}	Resistência superficial exterior ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)
R_{si}	Resistência superficial interior ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C/W}$)
S	Área da superfície interna do elemento (m^2)
U	Coefficiente de transmissão térmica ($\text{W/ m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
U_m	Coefficiente de transmissão térmica médio ($\text{W/ m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
α_s	Coefficiente de absorção sonora
λ	Condutibilidade térmica ($\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$)
ρ	Massa volúmica (kg/m^3)

Glossário

Área Bruta

Superfície edificada nos diversos níveis ou pisos.

Área Interior Útil de Pavimento

Somatório das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior, de todos os espaços interiores úteis pertencentes ao edifício ou fracção.

Área Útil

Superfície utilizável pelas pessoas.

Avaliação Bioclimática

Avaliação do clima local visando atingir um desempenho térmico adequado.

Capacidade Térmica

Grandeza física que determina a relação entre a quantidade de calor fornecida a um corpo e a variação de temperatura observada no mesmo.

Carta Solar

Carta que apresenta uma representação do percurso do Sol na abóbada celeste nas diferentes horas do dia e períodos do ano.

Coefficiente de Absorção Sonora

Capacidade do material absorver o ruído de forma significativa de determinada banda de frequência.

Coefficiente de Transmissão Térmica

Quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa.

Condutibilidade Térmica

Transmissão térmica através de uma unidade de espessura de determinado material, para cada grau celsius de diferença de temperatura.

Conforto Acústico

Sensação de bem-estar relativamente ao ruído sonoro.

Conforto Higrotérmico

Sensação de bem-estar relativamente à humidade e temperatura ambiente.

Inércia Térmica

Capacidade de um material armazenar o calor e de o restituir pouco a pouco.

Insolação

Quantidade de energia solar incidente numa determinada área durante certo período de tempo. A unidade comum de insolação é $\text{kW}/(\text{m}^2.\text{dia})$.

Massa Volúmica

Quociente entre a massa e o volume de um corpo.

Resistência Térmica

Característica de um material tratando-se do produto da espessura (na direcção do fluxo de calor) pelo inverso da condutibilidade. Para um elemento com várias camadas perpendiculares à direcção do fluxo, as resistências são aditivas.

Zenital

Ponto directamente acima do observador.

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento e Justificação do Tema

Habituação é internacionalmente aceite como um direito humano fundamental, desde a elaboração da Declaração Universal dos Direitos Humanos, em 1948, sendo que todos os seres humanos têm direito a um lugar adequado para viver, uma habitação segura, confortável e salubre. Contudo, mais do que um direito humano, uma habitação que ofereça condições de habitabilidade adequadas deve ser um objectivo político e cultural, para que a sua efectivação seja ampla e duradoura (Lopes & Amado, 2012).

Nas próximas décadas é esperado um rápido crescimento populacional nos países africanos. Com uma população de mais de 840 milhões de pessoas e crescendo a uma taxa de 2,4% ao ano, a África Subsaariana é a região que mais cresce demograficamente no mundo (Lopes & Amado, 2012). Esta situação, em conjunto com uma fraca capacidade de planeamento municipal e com a ausência de políticas eficazes do uso da terra, conduz ao êxodo rural, ou seja, migrações internas das áreas rurais para os centros urbanos, que revelam maior capacidade de providenciar emprego à população. Estas populações rurais, provenientes das áreas mais pobres do interior, ocupam as áreas da periferia das cidades que tomam como destino migratório, alocando-se em habitações sem condições de habitabilidade, gerando desta forma zonas de ocupação informal, como são exemplo as favelas. Nos países em desenvolvimento esta situação é problemática, tendo-se como exemplo o facto de cerca de 62% da população de África Subsaariana habitar em favelas no ano de 2012 (Amado, Pinho, Faria & Ramalhete, 2014). Em grande parte dos casos, o acesso à habitação não oferece os níveis mínimos de serviço, ou seja, não dispõe de uma estrutura urbana capaz de resolver o referido problema habitacional. Como consequência gera-se uma segregação destas populações do resto da cidade, piorando assim a sua condição económica e social (Amado *et al.*, 2014).

Cabo Verde (Figura 1.1) é um exemplo dos países nos quais se verifica esta problemática. Tem-se registado nos últimos anos um crescimento populacional médio anual de 1,24% e a dimensão média dos agregados familiares é de 4,2 pessoas (INE, 2010). Os agregados familiares residem em habitações com uma média de 3,4 divisões por fogo habitacional, depreendendo-se assim a existência de 1,3 pessoas por divisão (INE, 2010). Estas situações de sobrelotação revelam um agravamento das condições de vida das famílias que revelam maior nível de pobreza, principalmente quando se trata de agregados familiares residentes em meio rural. Em 2011, o défice

quantitativo de habitações atingiu o volume de 40 776 habitações e qualitativo de 66 013 habitações (Lopes & Amado, 2012).

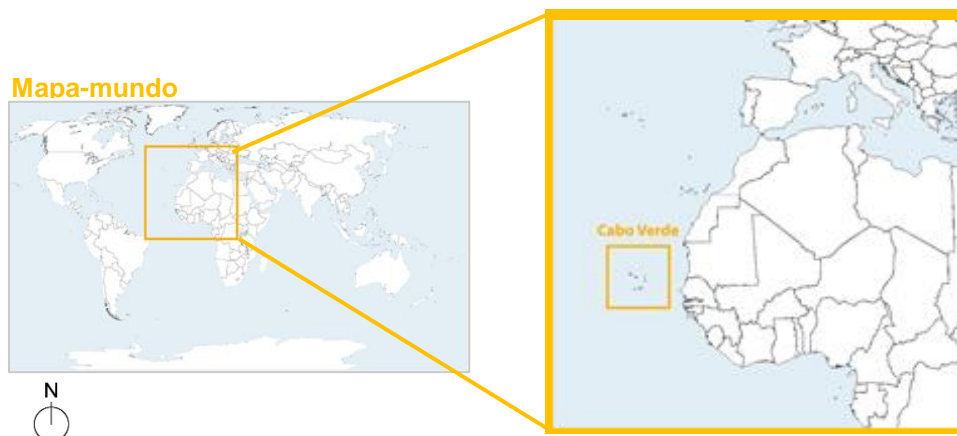


Figura 1.1 – Localização Geográfica de Cabo Verde

A necessidade de resolver, através de todos os meios possíveis, a problemática das carências habitacionais em países em desenvolvimento é agora reconhecida por todos os decisores políticos, governos e instituições. Contudo, aumentar a oferta habitacional com condições para uma população carenciada e crescente, é uma tarefa com vários obstáculos, tal como o insuficiente financiamento que toma uma importância bastante significativa neste campo (Lopes & Amado, 2012).

A resposta ao problema da carência habitacional tem-se vindo a revelar lenta e insuficiente, evidenciando a necessidade de encontrar uma solução rápida e sustentável de construção de habitações com custos reduzidos.

Para fazer frente a esta situação, os governos dos países em desenvolvimento, em conjunto com outras entidades, estão a tentar criar modelos habitacionais que dêem resposta às condições económicas e sociais destas populações. No entanto, este tipo de programas habitacionais revela dificuldades no momento da sua aplicação, devido ao financiamento insuficiente por parte dos governos, à falta de mão-de-obra qualificada, à falta de recursos e materiais de construção, à inexistência de métodos de construção avançados e à insuficiente eficiência e capacidade de gestão. É possível inverter esta situação através da implementação de novas ideias que permitam alcançar soluções sustentáveis, tanto para a população como para o ambiente. É crucial que a sociedade se foque no investimento no desenvolvimento de infra-estruturas e habitações que possibilitem ajudar as comunidades a construir as suas próprias habitações, acessíveis ao seu orçamento (Amado *et al.*, 2014).

Os modelos habitacionais devem contribuir para que a sociedade participe activamente para solucionar este problema habitacional, ao longo do tempo e a diferentes escalas, em cidades que já possuam infra-estruturas que permitem suportar este desenvolvimento. O novo tipo de abordagem sugerida prevê a possibilidade da aplicação de soluções pré-fabricadas na construção de habitações, de modo a oferecer uma rápida solução e contribuir para um desenvolvimento sustentável.

A solução deverá ser possível de aplicar de forma a gerar edifícios de habitação de custos reduzidos, de modo que possa contribuir para a resolução do problema identificado. A mesma deverá enquadrar-se na realidade socioeconómica urbanística dos diferentes locais e ser sustentável em todo o ciclo de vida do edifício, sendo então questão de investigação (Amado *et al*, 2014).

A escolha dos materiais a utilizar na concepção da solução pré-fabricada é indispensável para o sucesso do seu comportamento na fase de utilização. Tendo em conta a conjuntura a que se aplica esta dissertação, ou seja, sendo que se trata do desenvolvimento de uma solução construtiva para o arquipélago de Cabo Verde, de forma a reduzir o défice habitacional, é estritamente imperativo, desenvolver uma solução que consiga, a baixo custo, gerar módulos habitacionais capazes de satisfazer as necessidades quantitativas e qualitativas de habitação.

Em 2000, a Imobiliária, Fundiária e Habitat S.A. (IFH), revela a necessidade de construção de 41 153 alojamentos espalhados pelo país, sendo que, não só mais de metade era necessária na Ilha de Santiago como a Cidade da Praia absorvia um quarto do total nacional. Previu-se na altura o aumento destes valores de forma que em 2011 seriam necessários 43 156 novos alojamentos, caso não fossem tomadas medidas para inverter esta situação (Lopes & Amado, 2012). Com vista à resolução da situação, o Governo de Cabo Verde aprovou em 2009 o programa “Casa para Todos”, no âmbito da mobilização de parcerias para construção de habitação por todo o território. Considerando as projecções previstas para 2010 de um défice quantitativo de 40 776 e qualitativo de 66 013 habitações, o programa perspectivou entre os anos de 2008 e 2013 a construção de 8 155 habitações de forma a reduzir o primeiro e a remodelação de 16 000 habitações para redução do segundo (IFH, 2016). Uma vez que, segundo a IFH, até ao momento apenas 2 188 das habitações previstas, foram construídas, é importante procurar soluções que permitam uma aceleração deste processo.

Praia é uma das zonas fortemente afectadas por esta problemática e, tratando-se da zona do país que apresenta maior número de habitações de génese informal. Como tal desenvolvem-se grandes bairros informais, sendo que na cidade de Praia, Ilha de Santiago (Figura 1.2), se encontra a maior concentração de bairros desta génese. Como tal, escolheu-se Praia como objecto de estudo desta dissertação, com base de ser a zona de Cabo Verde que apresenta maior urgência na resolução desta problemática (Monteiro, et al.).

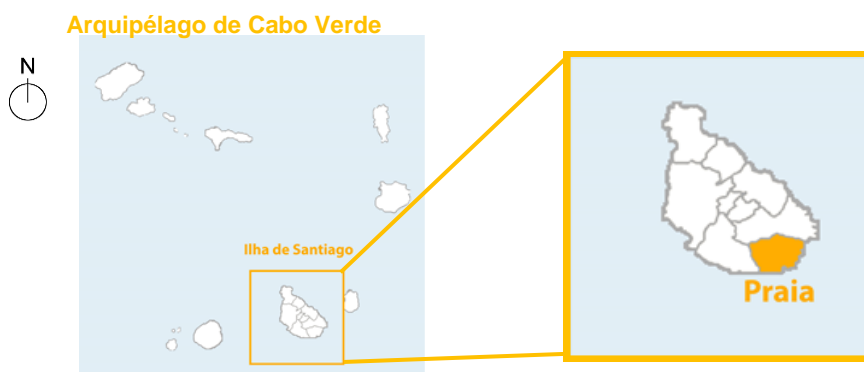


Figura 1.2 – Localização Geográfica de Praia – Ilha de Santiago – Cabo Verde

1.2. Objectivo do Estudo

A solução modular desenvolvida pretende contribuir para a resolução do défice habitacional em países em desenvolvimento, focando-se esta Dissertação no caso particular de Cabo Verde. A solução considera valores socioeconómicos e ambientais, de forma a proporcionar uma solução mais económica, segura, de rápida montagem e ambientalmente adaptada.

1.2.1. Objectivos Gerais

O acelerado crescimento populacional representa um enorme *stress*, tanto sobre o território físico e os seus ecossistemas, como sobre a economia e modelos de governança dos países em questão. No continente africano os recursos são, na sua generalidade, escassos e as condições de higiene e habitabilidade parcas, gerando a necessidade de promover capital de investimento para afectação dos sistemas de saúde, infra-estruturas, habitação, entre outros. Esta necessidade toma tal proporção, que se torna quase insustentável garantir a sua colmatação em termos logísticos e financeiros.

Com base na falta de habitação condigna nestes países, entende-se que o desenvolvimento de um módulo de parede em solução de pré-fabricação, construída essencialmente com recurso a materiais endémicos (originários dos locais de implantação) e ecológicos, conjugando propriedades higrotérmicas, de isolamento acústico e mecânicas, cujo custo seja competitivo na construção de edifícios de habitação unifamiliar é fundamental.

1.2.2. Objectivos Específicos

A presente dissertação pretende apresentar uma solução modular a partir de um sistema de parede modular pré-fabricada ambientalmente sustentável e socioeconomicamente competitiva para os países africanos em desenvolvimento, mais concretamente para o caso de Cabo Verde, que revela grandes carências a nível de habitação.

Foca-se no desenvolvimento de painéis de parede pré-fabricados finos, fabricados com betão reforçado, complementado com materiais de origem local, no que toca a elementos complementares interiores e exteriores, ou eventualmente materiais com características isolantes que poderão ser instalados entre a face interior da parede, de modo que permitam a geração de um sistema modular. Este painel visa alcançar os requisitos a nível higrotérmico, acústico e mecânico, essenciais para a construção aliada ao conforto térmico.

Este painel modular tem como objectivo desenvolver uma habitação flexível, baseada numa habitação familiar económica e dinâmica, suportada por um processo incremental, que permitirá ao utilizador a expansão ou retracção da habitação consoante as suas necessidades ao longo do tempo.

1.3. Questões de Investigação

Este trabalho pretende, no contexto dos seus objectivos, responder a:

Qual a vantagem da pré-fabricação para a construção modular?

Poderá o painel de parede ser um elemento gerador de habitação?

Quais os materiais mais eficientes para as soluções modulares?

Quais os requisitos exigidos à solução modular e quais os aspectos a abordar no dimensionamento?

1.4. Metodologia de Trabalho

A metodologia adoptada no desenvolvimento deste trabalho passou por uma explicação inicial dos motivos que conduziram à necessidade de procurar e criar soluções sustentáveis a aplicar ao sector da construção. Para além disso, procurou-se justificar a importância que a pré-fabricação tem para alcançar uma construção e desenvolvimento sustentáveis, no que toca à resolução do défice habitacional revelado pelos países africanos em desenvolvimento, mais concretamente em Cabo Verde. Após tal justificação, procurou-se a selecção do método de construção pré-fabricada que melhor se aplicaria ao caso de estudo, conduzindo ao conceito de construção modular, seguindo-se da sua explicação e justificação na abordagem do mesmo.

Com base nas soluções adoptadas, procurou-se esclarecer quais as prioridades e preocupações a considerar, de forma que fosse possível uma abordagem correcta ao painel de parede pré-fabricado, procurando o seu correcto dimensionamento consoante as necessidades identificadas, assim como os materiais endémicos possíveis de aplicar na solução de parede.

Por fim, com base no estudo já desenvolvido, procedeu-se à definição das características do módulo de habitação modular evolutiva, atendendo aos requisitos identificados.

1.5. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 5 capítulos e 10 anexos. O presente capítulo corresponde ao capítulo introdutório, abordando o enquadramento e justificação do tema da dissertação, os objectivos do estudo, assim como a metodologia de trabalho e a estrutura da presente dissertação.

O segundo capítulo é denominado por enquadramento teórico, no qual se abordam os conceitos da pré-fabricação, de modo a permitir uma melhor compreensão acerca do tema abordado e das soluções posteriormente estudadas. Este capítulo aborda também origem da pré-fabricação, que visa dar uma perspectiva da evolução da temática ao longo da história, cominando numa abordagem à pré-fabricação aplicada à construção, em que é apresentada uma síntese dos requisitos exigidos a este método construtivo comparativamente aos métodos tradicionais. De forma semelhante é avaliado o conceito de construção modular de habitação, apresentando alguns casos de aplicação.

O terceiro capítulo, intitulado de “A parede nas soluções de pré-fabricação” aborda o painel de parede como elemento gerador de habitação, assim como a parede pré-fabricada de um ponto de vista de avaliação do seu potencial, identificando possíveis problemas, assim como os requisitos exigidos à solução construtiva. É efectuada, também neste capítulo, uma análise dos requisitos exigidos aos materiais constituintes do painel pré-fabricado, assim como aos materiais com possível aplicação e à sua disponibilidade.

O quarto capítulo, denominado de “Composição do modelo de habitação modular evolutiva” foca-se na abordagem da solução, definindo soluções tanto para o painel de parede pré-fabricado como para a composição do módulo habitacional, abordando os pontos essenciais ao seu correcto dimensionamento, estabelecendo dimensões mínimas a ser aplicadas posteriormente, aquando do dimensionamento do mesmo.

Por fim, o último capítulo da corrente dissertação é referente às conclusões e desenvolvimentos futuros, efectuando uma exposição das conclusões que advêm do trabalho executado, assim como das possíveis perspectivas de desenvolvimento do tema com base no trabalho apresentado.

O esquema da estrutura da presente dissertação é apresentado de seguida na Figura 1.3.

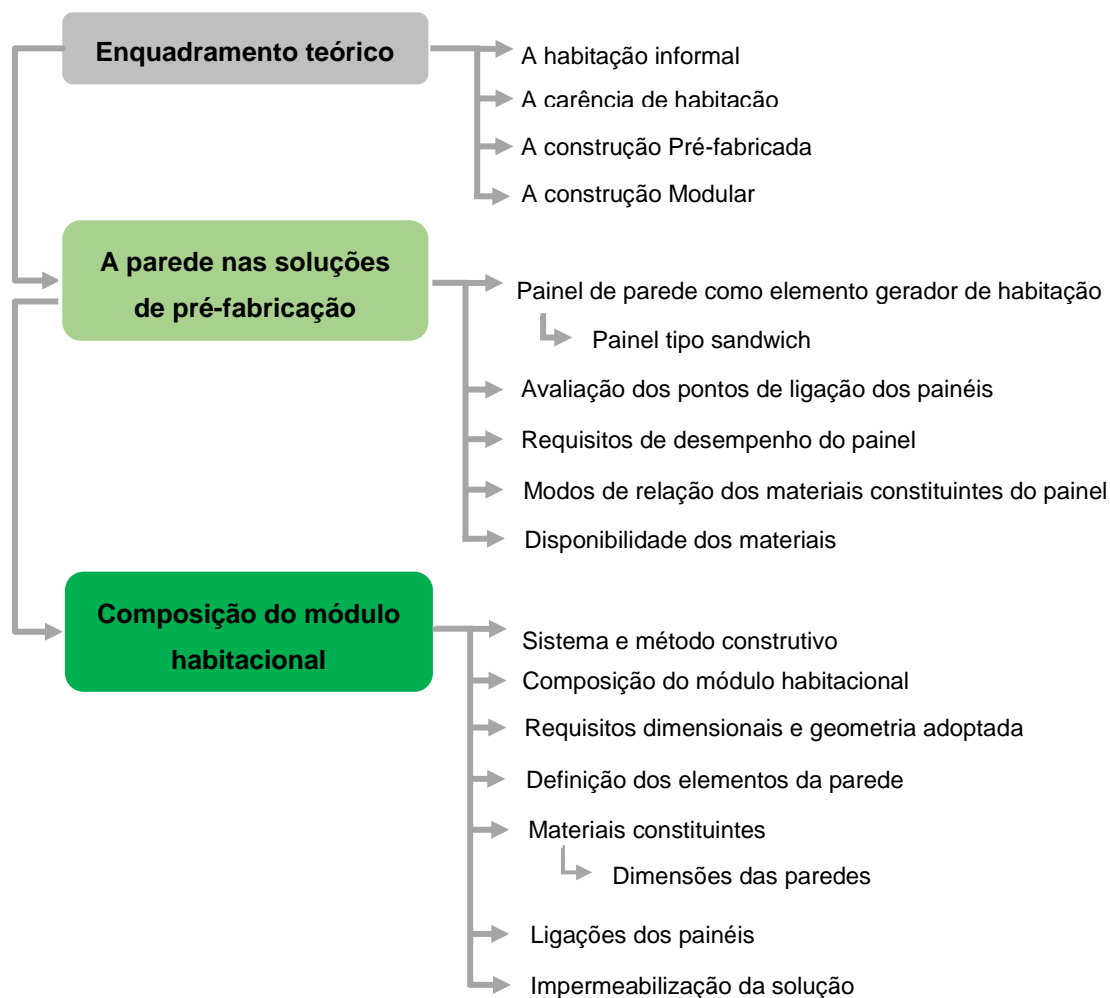


Figura 1.3 – Esquema da estrutura da dissertação

Capítulo 2

Enquadramento teórico

2.1. Conceitos de pré-fabricação

Neste ponto abordam-se uma série de conceitos associados ao conceito de pré-fabricação, de forma que o conteúdo, não só deste capítulo como de toda a dissertação se torne compreensível.

2.2. Pré-fabricação

Do ponto de vista técnico, o termo pré-fabricação é utilizado para designar um conjunto de técnicas utilizadas em construção que têm como princípio a produção de elementos construtivos, estruturais ou não, fora do seu local de implantação definitivo, com posterior montagem em obra, entre si ou com a estrutura existente. Pode definir-se como Total ou Parcial, sendo que, no que toca à pré-fabricação parcial, trata-se apenas da fabricação de certos componentes. Pode subdividir-se, segundo o peso dos elementos em Pesada, Leve ou Ligeira (Costa, 2013).

As duas grandes vertentes que competiram desde início no mercado foram o tradicional evoluído ou racionalizado e a pré-fabricação. O tradicional evoluído é definido por uma predominância de construção em obra, tendo como base a moldagem de betão *in-situ*, racionaliza processos de construção em obra, fazendo também recurso a equipamentos especiais. A pré-fabricação pode ser total ou parcial, pesada ou leve, nas suas vertentes plana, linear, plano-linear e tridimensional, e é baseada numa pré-preparação de elementos, total ou parcialmente betonados em fábrica.

A pré-fabricação total caracteriza-se pela produção e montagem de elementos produzidos em fábrica, constituindo estes a totalidade do edifício. (Reaes Pinto, 1973, citado por Amado et al., 2016).

A pré-fabricação pesada caracteriza-se pela produção de elementos pré-fabricados, cujo peso por metro quadrado de superfície opaca, varia normalmente entre os 200Kg e os 500Kg. Esta abrange soluções de carácter estruturante, nomeadamente pré-fabricados de betão armado e pré-esforçado, como paredes, escadas, lajes, pilares, vigas, entre outros. Estas soluções são previamente elaboradas em fábricas, sendo montadas e finalizadas, a nível de acabamentos, em obra.

A pré-fabricação leve caracteriza-se pela produção de elementos pré-fabricados, cujo peso por metro quadrado de superfície opaca, se situa abaixo dos 200Kg. Abrange soluções não-estruturais, que utilizam maioritariamente materiais de baixo peso, tais como paredes divisórias ligeiras,

segundos tectos, entre outros. Por norma, estes elementos são finalizados em fábrica, sendo apenas sujeitos a operações de montagem em obra.

A pré-fabricação ligeira é caracterizada pela utilização de elementos que usualmente não ultrapassam os 300Kg e que não necessitam de sistemas de elevação ou transporte de elevada potência.

A vertente linear, unidireccional (pilares e vigas), passa pela produção de vigas e pilares, que, a partir de uma rápida montagem, formam sistemas monolíticos que permitem a recepção de painéis pré-fabricados de fachada ou de paredes executadas por métodos tradicionais.

Por sua vez, a vertente plana, bidireccional (painéis), no que toca à pré-fabricação total passa pela produção de painéis pré-fabricados, verticais e horizontais, constituindo a totalidade dos elementos constituintes do edifício. No que toca à pré-fabricação parcial, a vertente plana passa pela execução de paredes, principalmente de fachada, que tendem a libertar-se da sua função portante, para se inserirem em estruturas reticulares de pilares e viga metálicas ou de betão armado, sendo que os referidos painéis pré-fabricados são montados já com o máximo de incorporados possível, entendam-se isolamentos, tubagens, caixas de aparelhagem para electricidade, entre outros. Dentro dos sistemas de pré-fabricação trata-se do sistema que apresenta maior número de aplicações.

A vertente plano-linear caracteriza-se pela produção de componentes planas e lineares para paredes exteriores pré-fabricadas e para edifícios com estrutura reticulada de betão armado.

Por fim, a vertente tridimensional, volumétrica, caracteriza-se pela produção em fábrica de células correspondentes a uma parte ou à totalidade do edifício, com a execução mínima de todos os acabamentos interiores das células.

2.2.1. Sistema de pré-fabricação

Um Sistema de pré-fabricação diz respeito a uma técnica de construção de um edifício que inclui o planeamento e descrição de todos os processos e operações a efectuar, tanto em fábrica como no local da obra. É considerado como sistema de pré-fabricação quando o índice de pré-fabricação de uma determinada obra é muito elevado, ou seja, o volume de operações em obra é relativamente pequeno em relação ao realizado em fábrica.

Quanto à classificação, relativamente aos elementos produzidos, esta pode ser qualificada como aberta ou fechada. Classifica-se como aberta quando os componentes produzidos em fábrica constituem partes da obra, em conjunto com outros elementos pré-fabricados de outras origens. Considera-se fechada quando os componentes produzidos em fábrica, com a finalidade de construir as partes fundamentais de uma obra, se unem entre si de uma forma prevista (Amado *et al.*, 2016).

2.2.2. Construção pré-fabricada

A Construção Pré-fabricada é também conhecida por “*off-site Construction*”, uma vez que, à volta do globo existem uma série de conceitos similares, que tomam diferentes nomenclaturas, embora digam respeito ao mesmo tipo de construção.

No âmbito da corrente Dissertação torna-se fulcral a introdução de alguns conceitos, de forma a compreender o estudo das soluções e conseqüentemente as opções tomadas ao longo do trabalho. Como tal, foram apontadas breves explicações, tanto no que toca ao conceito de construção modular, assim como à construção com recurso a painéis pré-fabricados.

- **Construção volumétrica ou modular**

Construção modular é o termo utilizado para designar a técnica construtiva onde são utilizadas unidades tridimensionais, totalmente produzidas em fábrica, utilizando vários tipos de materiais. Cerca de 80 a 90% do seu processo construtivo é efectuado em fábrica e a restante percentagem executada em obra, dizendo esta respeito aos processos de montagem e ligação entre elementos e a fundação previamente preparada, de forma a dar corpo ao edifício. No que diz respeito a este processo construtivo, as próprias unidades tridimensionais compõem o edifício, não sendo necessárias quaisquer estruturas de suporte adicionais (Costa, 2013).

- **Construção com recurso a painéis pré-fabricados**

Baseia-se da concepção de painéis produzidos em fábrica, posteriormente transportados para o local de implantação, que, quando devidamente ligados entre si ou a uma estrutura já existente, formam o corpo do edifício. Estes elementos podem constituir vários elementos integrantes do edifício como paredes, lajes ou coberturas. Podem destacar-se os seguintes tipos de painel (Costa, 2013):

- **Painéis Abertos:** Constituídos por uma estrutura de madeira ou aço, podendo ser ou não estruturais, entregues em obra com toda a estrutura à vista. Todo o tipo de elementos constituintes são aplicados em obra, desde vãos a isolamentos, instalações, revestimentos, acabamentos, entre outros. Este tipo de solução reduz o volume de trabalho passível de ser executado em fábrica, deixando de acrescentar valor à solução, no que toca às vantagens inerentes ao trabalho fora de estaleiro;
- **Painéis Fechados:** Semelhantes aos painéis abertos, com maior trabalho de produção em fábrica, podendo ser fornecidos já com vãos, isolamentos, instalações, revestimentos, acabamentos, entre outros, sendo apenas visíveis os elementos de ligação entre painéis;
- **Painéis Estruturais de Parede em Betão:** Podem ser fornecidos já com a colocação de vãos, isolamento e revestimento aplicados;
- **Painéis Compostos:** Resultam da combinação de diferentes materiais, funcionando em conjunto de forma a providenciar o suporte estrutural;
- **Painéis Isolados Estruturais:** Também conhecidos por Painéis *Sandwich*, sendo um exemplo concreto de painéis compostos, usados frequentemente para paredes de fachada

ou coberturas. Compostos por duas camadas do material constituinte do painel, ligadas entre si, sendo que, entre si, possuem uma camada de isolamento térmico;

- **Painéis não estruturais de fachada:** Servem apenas como revestimento exterior do edifício, protegendo o interior das acções ambientais;
- **Painéis não estruturais:** funcionam como preenchimento de painéis estruturais.

2.3. A origem da pré-fabricação

O conceito de construção industrializada teve a sua origem na Revolução Industrial, em meados do século XVIII, tendo-se verificado um rápido crescimento com a organização e o trabalho mecânico, tendo no entanto perdido a oportunidade de desenvolvimento que a indústria lhe proporcionou em meados do século XIX, uma vez que os arquitectos não souberam aproveitar tais oportunidade oferecida pelas novas tecnologias e materiais dessa altura. No entanto houve uma série de excepções, como são de apontar os casos da construção do Pavilhão Real de Brighton entre 1818 e 1824 por Nash, assim como a construção do Palácio de Cristal de Londres em 1851 por Joseph Paxton, que teve a duração, já na altura, de apenas 6 meses, a partir da aplicação de elementos metálicos pré-fabricados.

Remonta ao início do século XIX a primeira iniciativa de construção passível de nomear de pré-fabricação. Trata-se da ponte Tomar Bridge, no Reino Unido, em que as suas estruturas maciças foram construídas, não em fábrica, mas em lugares mais seguros e posteriormente transportados para a sua localização final (Lopes & Amado, 2013).

Após a Segunda Grande Guerra, a Europa encontrou-se mergulhada numa gravíssima situação de crise, com cidades parcial ou totalmente destruídas e com a economia muito fragilizada. A situação era grave e era portanto extremamente importante reconstruir o mais rapidamente possível as cidades flageladas pela guerra, utilizando para tal os escassos recursos existentes. Surgiu então, neste contexto, o conceito de pré-fabricação, baseado numa racionalização dos processos construtivos (Lopes & Amado, 2013).

A pré-fabricação é uma das duas grandes vias de construção industrializada que demonstrou ter viabilidade económica no referido pós 2ª Grande Guerra Mundial. Foi já no fim do século XIX que a firma Coignet surgiu como a primeira empresa de pré-fabricação, viabilizando o uso desta através da aplicação de vigas pré-fabricadas de betão armado no casino de Biarritz, em França, no ano de 1891 (Koncz, 1962, citado por Amado *et al.*, 2016).

Neste âmbito, haviam sido realizadas depois da 1ª Guerra Mundial algumas iniciativas, por arquitectos como Le Corbusier em 1921, Buckminster Fuller em 1927, Gropius conjuntamente Konrad Wachsmann em 1941, numa tentativa de resolução de problemas de habitação nos seus países. No ano de 1930 Marcel Lods e Beaudouin projectaram as primeiras casas pré-fabricadas em Bagneuse, França, na "Cité des Oiseaux". Todas estas tentativas tiveram pouca repercussão devido à sua falta de viabilidade económica no que dizia respeito aos processos de pré-fabricação utilizados (Amado *et al.*, 2016).

No entanto, as grandes carências de edifícios, como resultado da destruição maciça causada por bombardeamentos durante a guerra, assim como a explosão demográfica e a concentração industrial nas cidades, viabilizaram economicamente estas iniciativas e tornaram-se o motor de desenvolvimento da construção industrializada, nomeadamente da pré-fabricação (Blachère, 1975, citado por Amado *et al.*, 2016).

Perante uma incapacidade de resposta da construção tradicional, a falta de mão-de-obra qualificada, de materiais e energia, chegou-se à conclusão, por toda a Europa, que as grandes carências de habitação, em termos de quantidade, rapidez de construção e de preços, apenas seriam resolúveis através do recurso à construção industrializada (Amado *et al.*, 2016).

2.3.1. Breve nota histórica

A evolução da pré-fabricação, de uma maneira geral, nomeadamente em França, deu-se através de dois grandes períodos (Reais Pinto, 2000, citado por Amado *et al.*, 2016):

O período da quantidade, de 1947 a meados da década de 70: Diz respeito ao período da industrialização da construção, demarcado pela quantidade devida à necessidade de massificação da construção, por sua vez consequente da carência de habitação existente à época. Caracteriza-se pelo uso da “pré-fabricação fechada” com grandes e pesados painéis e por estaleiros de grande dimensão.

O Período da qualidade, a partir de 1970: Neste período a qualidade veio-se sobrepondo à quantidade, consequência de uma nova necessidade de diversificação, melhor desenho dos edifícios e das exigências de conforto higrotérmico e acústico, de forma a satisfazer os utilizadores.

Estas novas exigências conduzem à produção de componentes para sistemas de “pré-fabricação aberta”, que se preocupa com a coordenação dimensional e os componentes compatíveis. Com a necessidade de mercado a apontar para uma necessidade de mais flexibilidade, dá-se a divulgação da pré-fabricação parcial, sobretudo a plana, de elementos de fachada inseridos em estruturas reticuladas de pilares e vigas de betão armado ou metálicas, de Lajes e pré-lajes de betão armado e até mesmo de pré-fabricação de pilar e viga (Reaes Pinto, 2000, citado por Amado *et al.*, 2016).

Em Portugal, nomeadamente a pesada, teve maior expressão a partir do ano de 1964, devido ao défice habitacional que se fazia sentir devido às transformações políticas e sociais que tomavam lugar no país. No entanto, em 1940 já se realizavam algumas experiências de pré-fabricação leve, nomeadamente no âmbito do *Programa de Casas Desmontáveis*. Estas habitações tinham como finalidade o alojamento provisório da população no âmbito da construção da Ponte 25 de Abril, encontrando-se inseridas no processo de auto-construção.

Ao nível da pré-fabricação pesada total, o primeiro exemplo em Portugal surgiu no ano de 1964 com a construção da Unidade Habitacional de Santo António dos Cavaleiros, Loures, cuja coordenação e autoria dos projectos de arquitectura pertence ao arquitecto Reaes Pinto. Nesta obra, recorreu-se exclusivamente a pré-fabricação pesada, executando-se em fábrica desde as paredes exteriores, interiores, resistentes e não resistentes, lajes a condutas de ventilação (Amado *et al.*, 2016).

A partir da década de 70, dá-se por toda a Europa o encerramento de grandes fábricas de pré-fabricação, uma vez que implicavam grande investimento em capital fixo e pouco flexível, que não acompanhava a evolução do mercado, e uma vez que o escoamento de produto se tornou insuficiente face à capacidade instalada.

O ressurgimento das técnicas de pré-fabricação, deu-se a partir de 1990, com o desenvolvimento de técnicas de produção de betão que o tornavam mais leve e esbelto e de associação do betão com outros materiais de forma a melhorar o seu desempenho. (Reaes Pinto 2000, citado por Amado et al., 2016).

A evolução da pré-fabricação tem-se dado no sentido da atribuição de maior flexibilidade ao nível do mercado, mas também no sentido do desenvolvimento de soluções de pré-fabricação parcial, nomeadamente de painéis exteriores de fixação mecânica em estruturas de betão armado ou metálicas, executadas *in-situ* (Amado et al., 2016).

2.4. A pré-fabricação aplicada à construção

Actualmente, a pré-fabricação pode passar pela criação de elementos pré-fabricados com recurso a inúmeros materiais. Grande parte da pré-fabricação nos EUA recorre à pré-fabricação em madeira, assim como em alguns países da Europa. Estruturalmente, é também frequente recorrer a elementos pré-fabricados metálicos, de forma a formar os “esqueletos” estruturais de uma grande variedade de estruturas, principalmente de estruturas industriais. Esta dissertação tomará como foco, a mais comumente utilizada, ou seja, a pré-fabricação de elementos mistos, de betão conjugado com outros materiais, que confirmam outros tipos de propriedades aos elementos, que não a componente estrutural. É importante referir que existe actualmente um olhar bastante distinto no que toca às preocupações que o sector da construção considera relevantes, sendo que é hoje em dia imperativo começar a tomar medidas para que a construção se dê de forma sustentável.

O processo de decisão para a construção, anterior a surgir o conceito de sustentabilidade, resumia-se graficamente através de um modelo triangular, em que cada vértice correspondia a uma preocupação específica como representado na Figura 2.1 – Evolução das preocupações no sector da construção (Adaptado de Martins, 2015): tempo despendido, custos associados e qualidade do produto (Martins, 2015).

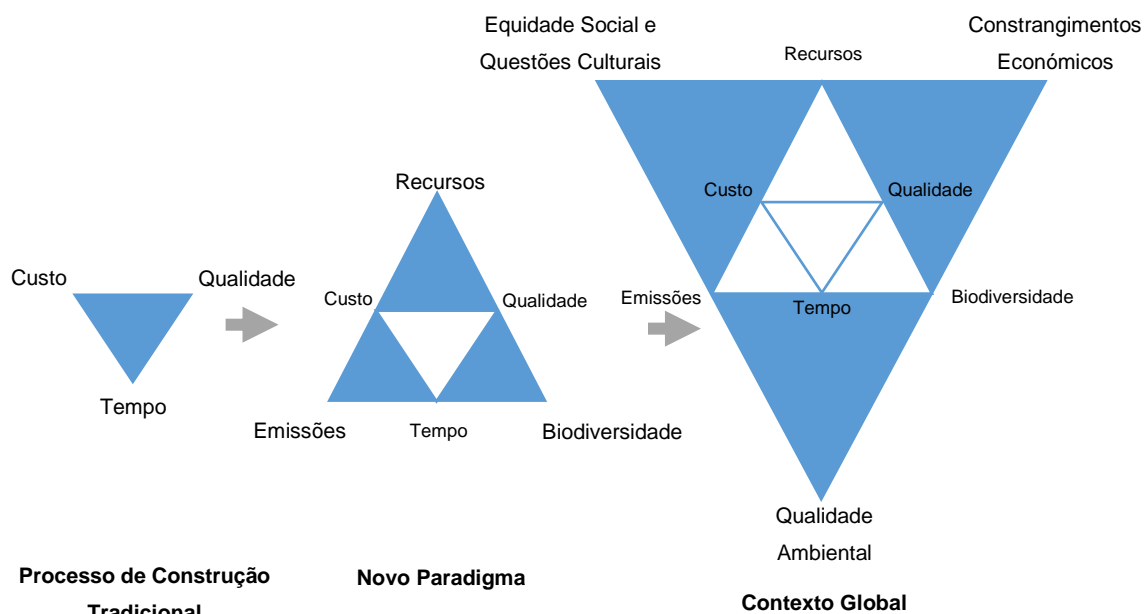


Figura 2.1 – Evolução das preocupações no sector da construção (Adaptado de Martins, 2015)

Com o surgir do novo paradigma da sustentabilidade e conseqüentemente da construção sustentável, o modelo triangular anteriormente referido foi absorvido por um novo, com forma semelhante, apresentando três novas preocupações mais ligadas ao ambiente: emissões de poluentes, consumo de recursos e a preservação da biodiversidade (Figura 2.1 – Evolução das preocupações no sector da construção (Adaptado de Martins, 2015)).

Mais tarde, foram introduzidas ao modelo de decisão para construção sustentável, as três dimensões do desenvolvimento sustentável, ou seja, equidade social e herança cultural e, por último, qualidade de vida e qualidade do ambiente construído (Figura 2.1) (Martins, 2015).

Um olhar sobre estes modelos é essencial a uma correcta avaliação dos conceitos ligados à construção pré-fabricada, comparativamente aos métodos construtivos tradicionais.

i) Requisitos

A construção pré-fabricada deve preencher uma série de requisitos, de forma que seja viável e competitiva com o método de construção tradicional. É cada vez mais importante uma avaliação e comparação de ambos os métodos construtivos, de forma a validar a construção com recurso à pré-fabricação, moldando mentalidades, de forma que esta possa cada vez mais tomar um papel fundamental no que toca a suprir as necessidades actuais, nomeadamente as necessidades que a construção tradicional não consegue suprir.

Esta validação passa pela série de requisitos, sendo eles relativos a planeamento, prazos, segurança, sustentabilidade, economia/custos, gestão de riscos, relação com os vários intervenientes em obra e qualidade. De seguida, cada um destes tópicos é sujeito a uma abordagem,

de forma a esclarecer a necessidade de resposta a cada um deles, assim como o seu posicionamento relativamente à construção tradicional em cada um dos tópicos.

É de salientar que a avaliação é feita tendo em conta a construção tradicional, sendo que a sua vertente tradicional evoluída ou racionalizada já permite vencer algumas das carências presentes na construção tradicional e apresenta actualmente, com recurso a novas tecnologias, suprir alguns dos problemas inerentes à mesma, apresentando até alguma aproximação às mais valias apontadas à construção pré-fabricada.

- **Planeamento**

Uma relevante condicionante da construção pré-fabricada diz respeito ao aumento das fases de planeamento e pré-construção, antecipando temporalmente um maior requisito de trabalhos relativos a engenharia e arquitectura. O trabalho de projecto e planeamento têm de ser conduzidos de forma precisa antes da fase de fabrico. A coordenação do *design*, a construção em fábrica, o transporte e montagem em estaleiro constituem fases decisivas no sucesso da implementação desta técnica construtiva (Na, 2007, citado por Costa, 2013).

Trabalhar com elevada precisão e supervisão pode conduzir a uma redução da quantidade de ajustes e adaptações que é por vezes necessário efectuar (Philipson, 2001, citado por Costa, 2013).

A dificuldade de fazer alterações em estaleiro constitui um entrave à utilização da construção pré-fabricada. Antes do trabalho em estaleiro, algumas das actividades cujo desenvolvimento consome maiores recursos temporais, incluem interacções entre projectistas, podendo estas ter tanta influência no desenvolvimento da construção quanto a construção propriamente dita. Uma falha nesta etapa pode conduzir a um atraso do trabalho em fábrica superior ao tempo que seria poupado em estaleiro. Os gestores e coordenadores de projecto necessitam de um domínio de conhecimentos em várias vertentes, de forma a aproveitar todos os benefícios e potencialidades da rapidez de construção associada à pré-fabricação (Costa, 2013).

Uma grande vantagem associada à pré-fabricação é o facto de esta permitir que o projecto e subsequente fabrico ocorram em simultâneo ou em paralelo com outras actividades. No entanto, alterações posteriores ao projecto, de modo a não influenciarem o planeamento de produção, são de difícil implementação, podendo conduzir ao aumento do prazo global do projecto (The National Audit Office, 2005, citado por Costa, 2013).

Outra das vantagens de uma boa execução do planeamento prévio de tarefas diz respeito ao facto de ser possível acelerar em muito o processo de edificação (Philipson, 2001, citado por Costa, 2013).

- **Prazos**

Poupar tempo é um dos mais substanciais benefícios da construção pré-fabricada. A redução do tempo de construção *in-situ* tem um grande impacte no tempo de duração global de todo o projecto. Sendo que o trabalho de estaleiro é fortemente condicionado pelas condições atmosféricas, a utilização de componentes pré-fabricadas permite reduzir o risco de atrasos e assegurar as exigências do projecto, uma vez que grande parte do trabalho tradicionalmente realizado no local de construção

é executado em fábrica (Costa, 2013). A Figura 2.2 e Figura 2.3 ilustram alguns factores que conduzem a tal redução, no que toca a diferentes processo construtivos pré-fabricados relativamente à construção tradicional.

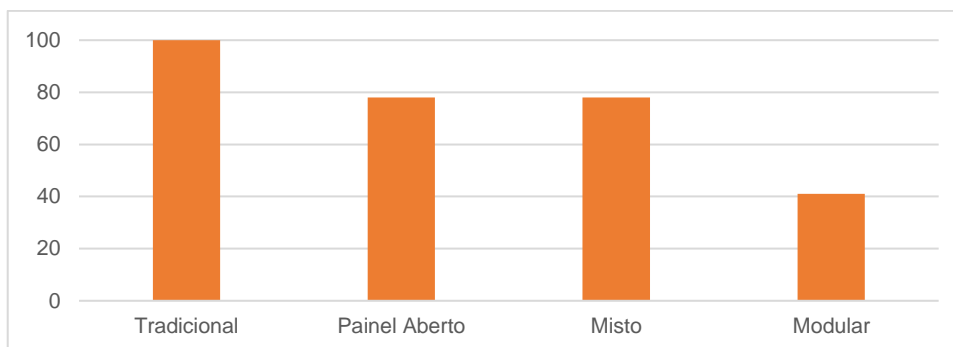


Figura 2.2 – Período típico de construção, em percentagem da Construção Tradicional (adaptado de Costa, 2007)

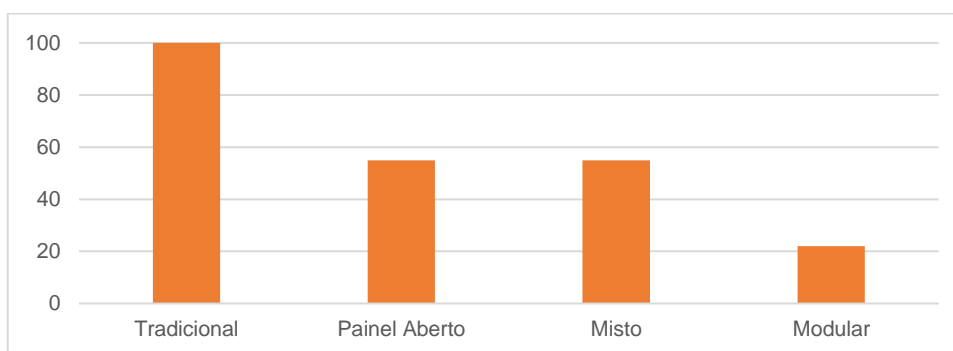


Figura 2.3 – Período típico para tornar um edifício estanque, em percentagem da Construção Tradicional (adaptado de Costa, 2007)

Estudos realizados por autores de diversos países demonstram que a construção com recurso a pré-fabricação diminui, em muito, o tempo de construção em comparação com os métodos construtivos tradicionais (Costa, 2013).

- Mão-de-obra

A pré-fabricação permite reduzir a necessidade de mão-de-obra qualificada. Quando comparada com a construção tradicional, a construção pré-fabricada exige uma menor quantidade de mão-de-obra especializada em estaleiro, devido, em grande parte das situações, à índole mais simplificada e devido à menor quantidade de trabalhos necessários em obra e por vezes em fábrica, no que toca à execução de certos trabalhos como são exemplo algumas instalações simples. Para além disso, a mão-de-obra utilizada na montagem é geralmente mais qualificada, revelando também outro tipo de comportamento e mais eficiente nas tarefas designadas.

Há que considerar também a outra face da moeda. Os métodos construtivos que recorrem à pré-fabricação requerem mão-de-obra mais qualificada, tanto para montagem em fábrica como para o fabrico. Muitos problemas associados à falta de qualidade dos edifícios, que recorrem à pré-

fabricação, estão relacionados com a montagem e a falta de rendimento dos moldes em fábrica, que dão origem a painéis não ortogonais, reflectindo-se mais uma vez sobre a montagem dos painéis e não com a qualidade dos materiais e componentes utilizados ou com defeitos da própria estrutura (Figura 2.4) (Costa, 2013).

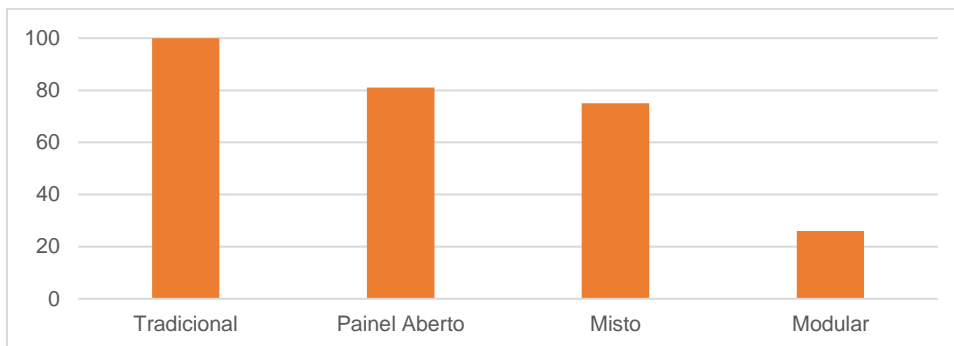


Figura 2.4 – Número típico de dias de trabalho em estaleiro, em percentagem da Construção Tradicional (adaptado de Costa, 2007)

Vários estudos realizados corroboram a teoria de que é possível construir mais, com o mesmo número de mão-de-obra utilizado pelos métodos construtivos tradicionais, ou até, que é possível construir com recurso a menor número de mão-de-obra (Costa, 2013).

- Equipamentos

Um dos factores que pode condicionar o uso da pré-fabricação é a capacidade de transporte e manuseamento de componentes de grandes dimensões no local da obra. É um factor importantíssimo a adequação vespertina das dimensões dos elementos, ao equipamento a utilizar no manuseamento e transporte dos mesmos, podendo estes condicionar simultaneamente o tamanho e o peso dos elementos (Costa, 2013).

- Transporte

O factor transporte é um factor determinante para a viabilidade da construção pré-fabricada, sendo que o método utilizado para o transporte de componentes, assim como o itinerário, impõem limitações de peso, altura e comprimento, no que toca ao dimensionamento dos elementos pré-fabricados.

Os elementos poderão ser sobredimensionados e projectados de modo a evitar danos durante o transporte, que conduziriam inevitavelmente ao aumento dos custos do projecto (Costa, 2013).

- **Segurança**

Devido ao facto de a pré-fabricação reduzir o tempo despendido em obra e possibilitar a execução de alguns elementos em fábrica, pode trazer benefícios no que toca à segurança. Os trabalhadores, ao trabalharem em fábrica, encontram-se num ambiente mais controlado, não estando expostos às condições climáticas, sendo que, por sua vez, os trabalhadores em obra, ao verem reduzido o seu tempo de permanência na mesma, vêem também reduzida a exposição às mesmas. Podem também ver-se reduzidas as quantidades de trabalho em altura, assim como actividades de risco. Para além disso, com a redução da necessidade de espaço em estaleiro para armazenamento de material, cria

um desafogo da área da obra, reduzindo também a probabilidade de acidentes de origem na sobrelotação da obra ou falta de organização da mesma.

Podem sistematizar-se as vantagens em dois campos, sendo eles (Costa, 2013):

- **Segurança estrutural:** o facto de ser possível efectuar vários testes nos componentes envolvidos no sistema construtivo antes da sua aplicação, permite a correcção de eventuais falhas ou defeitos.
- **Segurança no trabalho:** com a diminuição do volume de trabalhos em obra, promove-se a redução da probabilidade de acidentes. A utilização de uma mão-de-obra mais especializada e de equipamentos com maior eficácia são também factores de influência no que toca a este parâmetro. O recurso a equipamentos de transporte, elevação e montagem adequados, aliada à utilização de equipamentos ou materiais auxiliares, como escoramentos ou cofragens, resulta também num aumento a nível de segurança em obra, assim como a utilização de mão-de-obra especializada nas actividades de montagem, reduz também a probabilidade de acidentes no momento da implantação dos módulos.

Todavia, a montagem dos componentes da pré-fabricação em obra, implica a utilização de equipamentos pesados, devido ao peso e dimensão dos elementos, sendo fulcral a correcta definição de trabalhos e dos respectivos aspectos de segurança, assim como uma correcta definição das áreas de estaleiro, de modo a garantir a segurança dos trabalhadores em obra.

- **Sustentabilidade**

Actualmente, a preocupação com a preservação do meio ambiente representa um desafio a nível global, existindo um conjunto de medidas aplicadas para regulação do impacte ambiental e o desempenho energético dos edifícios, como a Directiva Europeia dos Edifícios Sustentáveis. Quando o alvo é a sustentabilidade aliada à construção, devem aborda-se aspectos relativos a energia, água, materiais, desperdício, poluição, saúde e bem-estar, gestão e ecologia.

O sector da construção continua a ter um grande impacte negativo sobre o meio ambiente, nomeadamente no que diz respeito a consumos energéticos, utilização irracional de recursos naturais, poluição, desperdícios ou ruído. Várias publicações defendem a pré-fabricação como uma solução competitiva no campo da sustentabilidade, tendo até, a nível Europeu, encarada como tendo um papel fundamental no que toca a este aspecto.

Os benefícios ambientais serão inevitavelmente dependentes do sistema de pré-fabricação escolhido. A performance ambiental da pré-fabricação para os diferentes parâmetros estipulados pela *Movement for Innovation*¹ pode ser encontrada no quadro síntese que se segue (Tabela 2.1) (Costa, 2013).

¹ Em Outubro de 1997 a "Construction Task Force, presidida por Sir John Egan, foi comissionada para aconselhar o Vice-Primeiro Ministro da perspectiva dos clientes sobre as oportunidades para melhorar a eficiência e qualidade da prestação de construção do Reino Unido, para reforçar o impulso para a mudança e para tornar o sector mais sensível às necessidades dos clientes. (Construction Task Force - Movement for Innovation)

Tabela 2.1 – Desempenho ambiental qualitativo da Pré-fabricação de acordo com alguns indicadores

Indicador de Sustentabilidade	Efeito resultante do uso da pré-fabricação	
Energia (em serviço)	Melhorias na qualidade dos edifícios devem assegurar padrões consistentes de isolamento e instalações	●
Energia (construção)	Redução do desperdício em estaleiro e aumento da reciclagem e reutilização deverá reduzir a energia despendida na construção, associada ao fabrico de certos componentes	●
Energia (transporte)	O transporte dos componentes pré-fabricados pode envolver volumes adicionais de ar, nomeadamente nas soluções modulares	●
Desperdício	Os componentes produzidos em ambiente de fábrica devem reduzir muito do desperdício frequentemente associado às actividades em estaleiro	●
Água	Em fábrica é possível um maior controlo e potencial reutilização da água do que em estaleiro	●
Espécies por hectare	A redução da poluição em estaleiro deve limitar o impacte nas espécies existentes no local. A configuração arquitectónica e paisagística é igualmente importante e não deve depender do método construtivo.	●

● Positivo ● Negativo

○ Energia

• Em serviço:

A produção dos componentes em fábrica apresenta a vantagem de ter o isolamento e instalações inseridos no interior dos componentes pré-fabricados, e de serem especificamente concebidos tendo em conta as suas propriedades térmicas, sendo produzidos com o auxílio de tecnologias que permitem um maior controlo dos processos.

A partir de uma utilização adequada dos materiais dos componentes pré-fabricados, é possível obter paredes mais finas, com melhores valores de resistência térmica e que permitem simultaneamente uma maior flexibilidade na definição de espaços (Costa, 2013).

A obtenção de um edifício com melhores qualidades térmicas permite, durante o período de utilização do mesmo, que haja uma redução no consumo de energia de aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores, garantindo desta forma benefícios ambientais.

• Em construção:

A redução do tempo de trabalho em obra, assim como a maior eficiência dos processos praticados em fábrica, podem contribuir para a redução dos gastos de energia durante o período de construção, tornando a construção pré-fabricada competitiva também neste aspecto (Costa, 2013).

• Em transporte:

Este é possivelmente o único factor de desempenho ambiental que apresenta piores resultados quando comparado no caso da construção pré-fabricada e da construção tradicional. Principalmente no que toca à construção modular, uma vez que esta implica, em alguns casos, o transporte de volumes de ar, no interior dos módulos pré-fabricados, leva a que seja necessário um maior número

de viagens para transporte, tornando-se menos eficiente que no caso da construção tradicional (Costa, 2013).

Para além do transporte dos materiais para a fábrica, a pré-fabricação implica ainda o transporte dos componentes finalizados para o local da obra, provocando um acréscimo do número de viagens.

- Água

Tal como acontece no caso da energia, o maior controlo dos processos em fábrica permite a racionalização dos processos de produção, assim como uma melhor gestão e reaproveitamento dos recursos, evitando gastos excessivos de água (Costa, 2013).

- Materiais e desperdício

A possibilidade de uma supervisão da qualidade dos processos de fabrico mais cuidada e rigorosa permite controlar e minimizar os desperdícios e resíduos em obra, normalmente associados às más práticas correntes, encomenda excessiva de materiais e ao pouco cuidado no manuseamento e manipulação dos materiais, uma vez comparado com os métodos tradicionais. É mais fácil gerir o desperdício em fábrica que em obra, uma vez que há possibilidade de um maior controlo dos processos produtivos, que conduz a uma separação mais eficaz de materiais, assim como a simplificação dos processos de reciclagem.

Em alguns estudos efectuados, comparando o métodos tradicionais com a construção modular, verificou-se uma redução de 52% do desperdício, com diferenças significativas no que toca ao betão, cimento, metais ou isolamento (Costa, 2013).

- Poluição e Ecologia

Os processos produtivos em fábrica possibilitam um maior controlo no que toca à poluição. O facto de a construção pré-fabricada permitir uma redução do tempo em obra, conduz a uma redução consequente do impacte no meio de ambiente. Uma questão que pode ser importante está a associada aos estragos causados pela poluição durante a fase de construção. A produção em fábrica, relativamente à emissão de CO₂, permite um controlo e redução das emissões, reduzindo o risco de poluição, tanto em termos globais como nas proximidades da obra.

Outro dos impactes que podem ser minimizados é o ruído, uma vez que se reduz o tempo de permanência em obra, reduz-se o tempo de exposição das áreas envolventes à obra, ao ruído intrínseco à mesma (Costa, 2013).

- Desconstrução

Paralelamente à promoção da regulamentação ambiental, é necessário desenvolver e implementar técnicas e processos construtivos que tenham em consideração a sensibilização para a desconstrução. A pré-fabricação revela um papel importante, uma vez que satisfaz mais facilmente os requisitos da desconstrução, permitindo a recuperação e reaproveitamento, tanto de materiais como de componentes, promovendo desta forma processos de reciclagem e reutilização (Costa, 2013).

- **Economia/custos**

Outro grande desafio à utilização da construção pré-fabricada é o preço. A utilização da pré-fabricação permite a redução dos custos nas várias etapas da cadeia de produção, como é exemplo, reduções associadas com a economia de materiais e de mão-de-obra na fase de construção.

Os custos são variáveis consoante o método construtivo utilizado. Alguns estudos concluem que a construção pré-fabricada pode ter uma reacção custo-benefício, atingindo resultados competitivos com os métodos de construção tradicionais, uma vez realizada nas condições adequadas a tal.

Contudo, trata-se de um método ligeiramente mais dispendioso que os métodos tradicionais, sendo que, a redução de custos se alcança pela poupança de tempo, que gera uma redução de custos passível de colmatar a diferença de custo dos elementos pré-fabricados. A referida discrepância de preços é possivelmente suavizável com o crescimento e consolidação do mercado da pré-fabricação.

Uma das vantagens imediatas para os Promotores imobiliários, passa por possibilitar da entrega antecipada da obra, permitir a hipótese de venda ou aluguer antecipada, em relação aos métodos tradicionais, embora também seja dependente, assim como qualquer produto industrializado, da continuidade técnica e de mercado. O custo associado à verificação de conformidade em estaleiro é reduzido, uma vez que, os componentes pré-fabricados já terão sido sujeitos a um controlo de qualidade rigoroso anterior, em fábrica, assim como se dá uma diminuição do trabalho de inspecção no local de obra, devido à redução do volume de trabalho (Figura 2.5) (Costa, 2013).

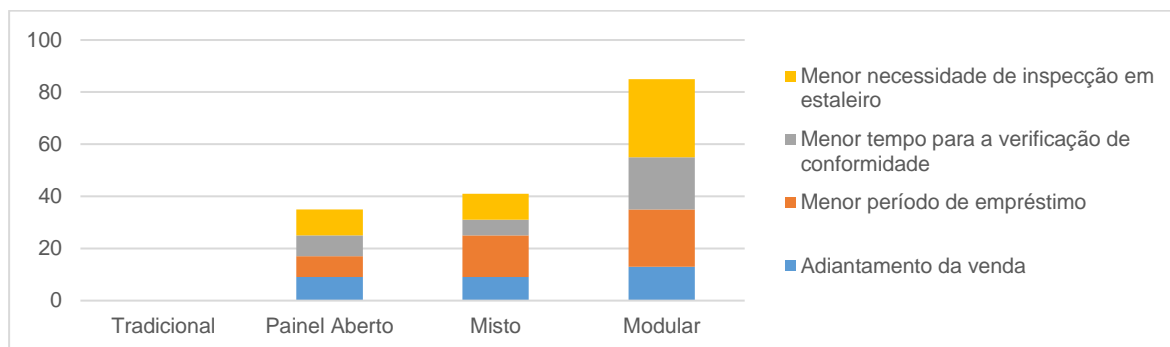


Figura 2.5 – Benefícios financeiros decorrentes da maior rapidez de construção e da redução do trabalho em estaleiro, em percentagem da Construção Tradicional (adaptado de Costa, 2007)

As técnicas de construção pré-fabricada aumentam os custos de produção fora de estaleiro, sendo que o maior aumento é verificado em relação à construção modular (Figura 2.6) (Costa, 2013).

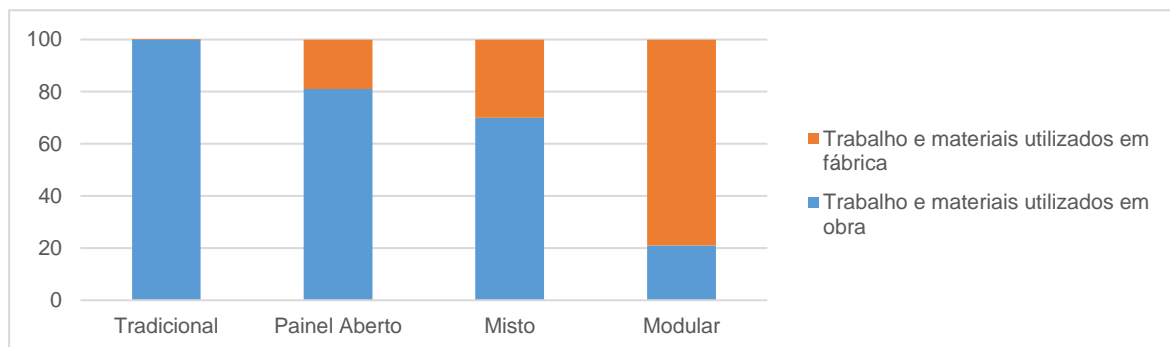


Figura 2.6 – Proporção de custos das várias técnicas de construção (adaptado de Costa, 2013)

Esta deverá tornar-se mais competitiva, uma vez que se verifique a diminuição dos custos de trabalho fora de estaleiro, passíveis de verificar como consequência da expansão e consolidação do mercado da construção pré-fabricada. Os preços seguem inevitavelmente o curso errático em relação à expansão do mercado, sendo que, uma redução de preço, assim como alguma capacidade financeira dos promotores, poderá ser suficiente para eliminar as diferenças de preços. A construção modular apresentará um maior impacto, uma vez que é nesta que se verifica um maior volume de trabalhos fora do local da obra (Costa, 2013).

- **Gestão do risco**

A construção pré-fabricada incute uma mudança dos perfis de risco dos empreendimentos e a respectiva gestão e mitigação. Alguns tornam-se menos significativos em termos de probabilidade de ocorrência e de potencial impacto, como é o caso dos atrasos devidos a condições meteorológicas adversas, ou mesmo flutuações de preços ao longo do processo construtivo, enquanto outros ganham relevância, como são exemplo as decisões de planeamento imprevisíveis ou configurações que não sejam adoptadas no método construtivo.

Alterações tardias ao projecto apresentam um maior impacto quando se utiliza a pré-fabricação, uma vez que, o trabalho em fábrica, baseado nos vários projectos de especialidade, tem início relativamente cedo, muito antes de se dar início aos trabalhos em obra. Alterações que impliquem trabalho adicional em fábrica poderão ter custos elevados e causar atrasos, que poderão por sua vez dar origem a multas por falha de prazos, quando os atrasos são significativos. Torna-se então vital envolver o fabricante dos componentes no processo, desde as etapas iniciais, seguindo uma prática de trabalho bastante apertada, que o mantenha em contacto constante com a equipa de projecto, o arquitecto e o cliente, assegurando que o projecto desenvolvido se adequa ao processo de fabrico. Uma colaboração estreita com os coordenadores de projecto garante que todas as questões que possam ter impacto sobre o *design*/concepção podem ser resolvidas antes da finalização do projecto.

A construção pré-fabricada tem inerente o risco da perda de capacidade de produção em fábrica, uma vez que, caso o *design* seja específico para um determinado fabricante ou grande volume de habitações, pode tornar-se difícil encontrar outro fabricante que consiga produzir os mesmos produtos, implicando desta forma grandes atrasos. Esta perda de capacidade pode ter origem em possíveis flutuações no projecto para lá da data prevista de início ou pelos prazos para produção dos componentes poder ter sido subestimado. Este risco pode ser mitigado, uma vez que seja garantida uma boa comunicação entre o responsável pelo desenvolvimento de projecto e os fabricantes, garantindo que a fábrica terá na sua posse todos os elementos necessários à boa estimação dos períodos de pico de produção (Costa, 2013).

Em particular, no caso das construções modulares, é imprescindível a construção das fundações com precisão, sendo que, caso estas estejam fora dos valores de tolerância, deverão ser corrigidas anteriormente à instalação dos componentes pré-fabricados. No caso da existência de uma área de armazenamento limitado, uma vez descobertos erros do foro referido, durante o período de correcção dos mesmos, poderá haver a necessidade do retorno dos componentes pré-fabricados

para fábrica, não só gerando movimentos adicionais de transporte, como podendo conduzir a atrasos na construção, sendo que ambas as situações poderão gerar custos não previstos. Estes atrasos, dependentemente da sua relevância, poderão requerer ajustes no planeamento global e de recursos, introduzindo potenciais atrasos extra, e relativos custos adicionais. A mitigação deste risco poderá passar por garantir uma formação adequada das equipas de trabalho em obra, assim como garantir uma eficaz gestão de obra. A envolvimento do fabricante no processo, possibilitando a inspecção do local de implantação e das fundações, por parte do mesmo, poderá ser fulcral para a redução da probabilidade de ocorrência deste tipo de erros.

As técnicas de construção pré-fabricada implicam que os elementos pré-fabricados sejam montados no momento certo, implicando o cumprimento dos prazos de entrega, para que a montagem possa ser efectuada no momento previsto em projecto. Atrasos no prazo de entrega, por parte do fornecedor, implicarão a não execução das operações de montagem no *timing* previsto, conduzindo a atrasos e consequente reprogramação das actividades seguintes, com consequências no prazo de execução e respectivos custos extraordinários. A mitigação deste problema passará por uma gestão cuidada dos fornecimentos, assim como pela identificação dos elementos que exijam maior tempo de fabricação, de forma a garantir que estes estejam finalizados e prontos a entregar na data prevista.

A possibilidade de insolvência de um fornecedor no decorrer de um projecto, poderá ter consequências mais gravosas no caso da construção pré-fabricada, comparativamente com a construção tradicional. Se os elementos pré-fabricados, particularmente unidades tridimensionais de compartimentos de serviço ou painéis, tiverem um *design* muito particular, ou um método de produção muito específico do fabricante, aquando a falta de fornecimento, será extremamente difícil conseguir outro fornecedor que consiga suprir as necessidades do projecto, podendo conduzir à necessidade de recurso a alterações no projecto. Este problema poderá ser prevenido pela promoção da standardização entre fabricantes. Uma comunicação eficaz ao longo das cadeias de fornecimento permitirá identificar atempadamente possíveis problemas com os fabricantes (Costa, 2013).

- **Relação com vários intervenientes obra**

A percepção negativa do público em geral, devido às más experiências do passado, é um dos maiores desafios da pré-fabricação. Apesar de muitos dos problemas terem como principal causa a mão-de-obra e não o projecto, as referidas experiências resultaram numa barreira à aceitação deste método construtivo, tornando-se imperativo redobrar esforços para deixar para trás esta conotação negativa.

Existe actualmente, uma certa relutância relativamente à utilização de novos sistemas, por mais inovadores que sejam, por falta de conhecimentos técnicos e de viabilidade. Os projectistas optam pela não utilização de sistemas que consideram não trazer benefícios para a construção ou cujos impactes no processo sejam desconhecidos. Grande parte dos empreiteiros encontram-se ainda pouco receptivos à utilização destas técnicas, por variadas razões, das quais fazem parte as percepções negativas, a experiência anterior de fraca qualidade, a falta de mão-de-obra qualificada nos processos de montagem e pela resistência à mudança dos meios e métodos utilizados.

Outro dos factores passa pela percepção errada do cliente em relação ao conceito estético do edifício. É recorrente a ideia de que a pré-fabricação não permite alcançar soluções arquitectónicas tão elaboradas como os métodos tradicionais, sendo que esta ideia é errada. A ideia da utilização da pré-fabricação é mais aceiteada no que toca à necessidade de rapidez na execução de determinados projectos (Costa, 2013).

- **Qualidade**

Tendo em conta que, os processos de controlo de qualidade em fábrica conseguem ser mais rigorosos que em obra, a pré-fabricação pode trazer uma potencial vantagem no que toca à qualidade. É possível obter um produto final com maior rigor devido ao maior grau de precisão, às dimensões standardizadas e à supervisão constante em fábrica, que conduzem a um maior controlo de qualidade. A utilização de novas tecnologias permite controlar o alinhamento e precisão das peças e possibilitando uma produção em massa personalizada. Em obra é apenas necessário garantir a correcta montagem, de acordo com as normas e padrões aplicáveis, para que o projecto cumpra os requisitos em termos de desempenho. É extremamente importante ter atenção a este ponto, uma vez que se trata de um problema que marcou a pré-fabricação no passado.

As três questões que se levantam frequentemente no que toca a um edifício de pré-fabricação são acerca de qual a durabilidade do edifício, qual o custo do ciclo de vida e qual o desempenho que o mesmo terá ao longo do tempo (Costa, 2013).

- Durabilidade

Em termos de durabilidade, seja qual for o método construtivo utilizado, a durabilidade será semelhante, uma vez que os principais componentes que são afectados pelos agentes de degradação são os mesmos. Todas as componentes estruturais têm um período de vida útil estimado de 60 anos, o que corresponde ao tempo estimado de vida útil para os vários componentes pré-fabricados. Os sistemas de estrutura leve de aço foram avaliados como tendo um potencial período de vida útil de 200 anos.

A construção pré-fabricada não pode por si própria garantir uma maior durabilidade do edificado, mas pode, no entanto garantir um maior controlo sobre as componentes, de forma a reduzir os riscos de não conformidade relacionados com o aparecimento de falhas prematuras e consequentes reparações das mesmas (Costa, 2013).

- Custo do ciclo de vida

Pelas razões apontadas relativamente à durabilidade, não é necessário haver questões diferentes de manutenção em relação às estruturas de construções pré-fabricadas. Os regimes de manutenção para janelas, portas, entre outros, serão semelhantes seja qual for o método construtivo utilizado, uma vez que os requisitos a satisfazer por estes componentes serão também os mesmos.

A introdução do conceito de custo do ciclo de vida para olhar para as diferentes estratégias de projecto pode também ser aplicado á pré-fabricação, permitindo ao cliente, no processo de escolha e estudo prévio, perceber quais as implicações a nível financeiro de determinado edifício ao longo

do seu período de vida útil do mesmo, tornando este conceito importante para o mercado de promoção imobiliária (Costa, 2013).

o Desempenho

Independentemente do método construtivo utilizado, actualmente, já existe um conjunto de normas que tomam como objectivo assegurar o desempenho satisfatório de um edifício em serviço, sendo no entanto necessário referir que o comportamento em serviço de um edifício pré-fabricado é substancialmente diferente de um edifício construído com recurso aos métodos tradicionais. É extremamente importante considerar o faseamento construtivo desde o início do projecto. Os elementos pré-fabricados devem estar dimensionados e preparados não só para a fase de serviço, como é comum na construção tradicional, mas também para as fases de fabrico, transporte e montagem, sendo necessário garantir o equilíbrio entre todas as diferentes fases do processo construtivo.

Há também que considerar, na pré-fabricação, as ligações entre componente, uma vez que é fulcral garantir o comportamento estrutural adequado ao edifício, de forma a que se garanta a transmissão de cargas correcta entre os elementos que constituem o mesmo, de acordo com o estipulado em projecto. É então extremamente importante que as ligações sejam correctamente dimensionadas e especificadas em projecto, assim como executadas em obra de forma rigorosa, uma vez que estas se assumem com maior importância no comportamento global da estrutura, em especial em construções pré-fabricadas (Costa, 2013).

ii) Vantagens

A pré-fabricação tem uma justificação intelectual nos pensamentos e teorias dos líderes da revolução industrial.

Adam Smith expressa os benefícios da divisão do trabalho num trabalho específico e de fábrica como (Taylor, H., 2005, citado por Lopes & Amado, 2013):

“Este aumento de produção deve-se a três diferentes circunstâncias. Em primeiro lugar, devido ao aumento da destreza de cada operário, em segundo lugar, devido à poupança de tempo, que é comumente perdido na passagem de um tipo de trabalho para outro e, por fim, devido à invenção de um grande número de máquinas que facilitam trabalho e permitem que um homem faça o trabalho de muitos”.

*Adam Smith, 1776
A Riqueza das Nações*

Vários autores já se debruçaram sobre estudos na área da pré-fabricação e apontaram benefícios na utilização deste método construtivo, de onde se destacam (Lopes & Amado, 2013):

- A pré-fabricação permite simultaneamente uma redução dos custos de produção, de construção e do conseqüente valor imobiliário, quer na óptica do construtor quer na óptica do utilizador;

-
- Encontra-se associada a uma optimização dos processos de produção, racionalizando o consumo de energia, as emissões de gases nocivos e os resíduos gerados, contribuindo para uma redução dos impactes ambientais derivados do sector da construção;
 - O projecto torna-se mais rigoroso e estabilizado desde a sua fase inicial, contribuindo para a diminuição do tempo de construção, uma vez que se poupa muito tempo no esclarecimento de dúvidas entre empreiteiro e projectista;
 - Redução do número de erros em projecto e incongruências na ante-produção, devido a uma maior interacção entre o projectista e os restantes intervenientes no processo de construção;
 - Envolvimento dos fornecedores no processo, conduzindo a um melhoramento do projecto e aumento do fluxo de entregas, podendo conduzir a uma redução de custos;
 - Aumento da coerência e correspondência entre o projecto do edifício e a sua construção, uma vez que a forma de aplicação não é sujeita a opções alternativas criadas pelo empreiteiro;
 - A simplificação do projecto e a sua estabilização desde a fase inicial, contribuindo para a diminuição do tempo de construção, devido à redução dos pedidos de esclarecimento entre empreiteiro e projectista;
 - A criação de unidades fabris destinadas à produção de elementos pré-fabricados conduz a uma maior rotina de produção, que facilitam o controlo de qualidade ao longo do ciclo de produção, desde as matérias-primas aos ensaios do produto final;
 - Aumento da velocidade de execução dos elementos em obra, em resultado dos elevados ritmos de montagem devidos ao planeamento e sistematização das operações a efectuar em obra, contribuindo para um mais fácil cumprimento de prazos de obra;
 - Redução da necessidade de andaimes, que por sua vez reduzem o tempo de execução assim como os custos associados ao material;
 - Diminuição do risco de acidentes em obra, devido à redução do tempo em obra;
 - Possibilidade de reaproveitamento de cofragens em fábrica, assim como outros elementos de moldagem, devido à semelhança de elementos produzidos;
 - Possibilidade de melhoria ao nível do processo de desconstrução devido aos elementos de ligação serem mecânicos, sendo desta forma desmontáveis e conseqüente possibilidade de reaproveitamento desses mesmos elementos;
 - Possibilidade de redução da área de estaleiro, caso não haja necessidade de armazenamento de elementos;
 - Maior facilidade na gestão e fiscalização sobre a qualidade dos produtos finais, quer da fabricação quer da construção;
 - Oportunidade de uma crescente eficiência no processo construtivo, uma vez que a experiência adquirida ao longo do tempo permite melhorar a segurança, eficiência e rapidez das operações;
 - Permite uma maior segurança relativamente à utilização de mão-de-obra não qualificada e inexperiente em obra, frequentemente utilizada na construção tradicional;

- Redução dos resíduos de construção e demolição e consequente diminuição dos custos associados;
- Redução do tempo global de construção;
- Redução global dos custos de obra, pela conjugação dos factores anteriormente referidos e através da redução dos prazos de construção;
- Possibilidade de aproveitamento de mão-de-obra não qualificada, tanto em obra como em fábrica.

Deste modo, pode concluir-se que a pré-fabricação é competitiva, mais eficiente no que diz respeito a processos produtivos, oferecendo maior segurança e possibilitando uma gestão mais simples. No entanto, quando confrontada com o método de construção convencional, esta ainda enfrenta alguns obstáculos, que têm vindo a ser identificados pelos grandes agentes do sector, embora devam começar a ser enfrentados como desafios a ultrapassar (Lopes & Amado, 2013).

iii) Desvantagens

A aplicação de novas tecnologias e de novos materiais no âmbito da pré-fabricação nem sempre foi objecto de investigação oportuna e testada ao longo do tempo. A necessidade de lançar rapidamente os processos construtivos e de construção rápida conduziu a um aumento do número de anomalias neste tipo de construção, que têm conduzido, em alguns casos, a uma degradação precoce dos edifícios e à redução do seu ciclo de vida. As anomalias identificadas estão, na sua maioria, relacionadas com o conforto higrotérmico das envolventes exteriores verticais dos edifícios, derivado da sua fraca resistência térmica. Destas situações resultam humidades de condensação superficiais e interiores, muitas vezes agravadas pela falta de ventilação no interior dos fogos. Relativamente à entrada de humidade pelo exterior, esta surge através de microfissurações e de fendilhação resultantes de retrações no betão, provocadas, fundamentalmente, por diferenças de amplitudes térmicas diárias ou sazonais ou até pela entrada de humidade através das juntas, entre cada dois painéis (Amado et al., 2016).

Vários autores já reflectiram sobre o tema, procurando identificar as desvantagens e desafios associadas à pré-fabricação, sendo que, as mais frequentemente identificadas passam por:

- Continuidade técnica;
- Necessidade de recurso a elementos de ligação adicionais que, por vezes, podem ser de frequente aplicação;
- Necessidade de elevado rigor e controlo no que diz respeito às ligações entre elementos construtivos;
- Elevado dispêndio de tempo, devido à elevada exactidão exigida na fase de concepção/projecto embora parcialmente compensada pela redução de tempo em estaleiro;
- Necessidade de maior controlo do processo de fabrico dos diversos elementos construtivos;
- Maiores encargos financeiros iniciais;
- Menor flexibilidade em relação ao mercado.

Neste sentido, é necessário unir esforços para mudar a imagem actual da pré-fabricação, de forma a conduzir a uma maior investigação na área, permitindo deste modo que surjam novas ideias, que conduzam a novas soluções que permitam ajudar na resolução da problemática habitacional que se sente nos países em desenvolvimento (Amado *et al.*, 2016).

2.5. Construção modelar de habitação

Recentemente a indústria da construção tem sido exposta a um processo de industrialização, experienciando diferentes métodos construtivos. É nesta linha que a construção pré-fabricada (*off-site construction*) surge como alternativa ao método tradicional não racionalizado.

Com base no volume de trabalho em fábrica, a construção pré-fabricada é caracterizada de acordo com os seguintes níveis (Kamali & Hewage, 2016):

- Sub-montagem de componentes (*Component subassembly*): Elementos de pequena escala em fábrica (ex: vãos);
- Pré-montagem não-volumétrica (*Non-volumetric preassembly*): os itens são montados em fábrica de modo a formar unidades não-volumétricas antes da instalação no local de construção (ex: painéis de revestimento);
- Pré-montagem volumétrica (*Volumetric preassembly*): Semelhante ao nível anterior, diferenciando-se pelo carácter volumétrico das unidades produzidas, sendo que as unidades são completamente finalizadas em fábrica (ex: casa de banho);
- Construção modular (*Complete/modular construction*): os itens são montados em fábrica de modo a formar módulos completamente finalizados. Os edifícios são formados por vários módulos montados entre si.

Os edifícios modulares correspondem a um conjunto de módulos manufacturados em fábrica, transportados até ao local de construção, montados e colocados sobre a fundação final. Os módulos são construídos e pré-montados em fábrica, assim como é executado todo o trabalho mecânico, eléctrico, de canalização e de acabamentos. Cerca de 85-90% do trabalho de construção modular é executado fora do local de construção, enquanto o restante trabalho (10-15%), incluindo fundações e ligações entre painéis, são feitos no local de construção.

Uma das razões para a relutância relativamente à aceitação no que diz respeito a técnicas de construção inovadoras, é a validação dos benefícios que a construção pré-fabricada confere a um projecto. Para muitas das entidades ligadas ao sector da construção, os benefícios da construção modular não são bem compreendidos.

De forma a defender a capacidade deste método construtivo ajudar a alcançar melhorias a nível ambiental, económico e social, contribuindo para alcançar os objectivos da sustentabilidade quando comparado com os métodos de construção tradicionais, é imperativo investigar o comportamento sustentável da construção modular ao longo de todo o ciclo de vida do edifício (Kamali & Hewage, 2016).

i) Vantagens

Vários autores apresentaram os seus pareceres acerca de quais as vantagens da construção modular, sendo que, entre elas se realçam as seguintes:

- **Calendarização**

Um dos mais importantes benefícios da construção modular é a rápida “passagem” entre as etapas de início da obra e a ocupação, ou seja, a preparação das actividades no local de construção e a construção do edifício são feitas simultaneamente, como demonstra o esquema da Figura 2.7. Consequentemente, o risco de atrasos derivados das condições meteorológicas, vandalismo e assaltos ao local da obra são reduzidos significativamente através da utilização do método de construção modular (Kamali & Hewage, 2016).

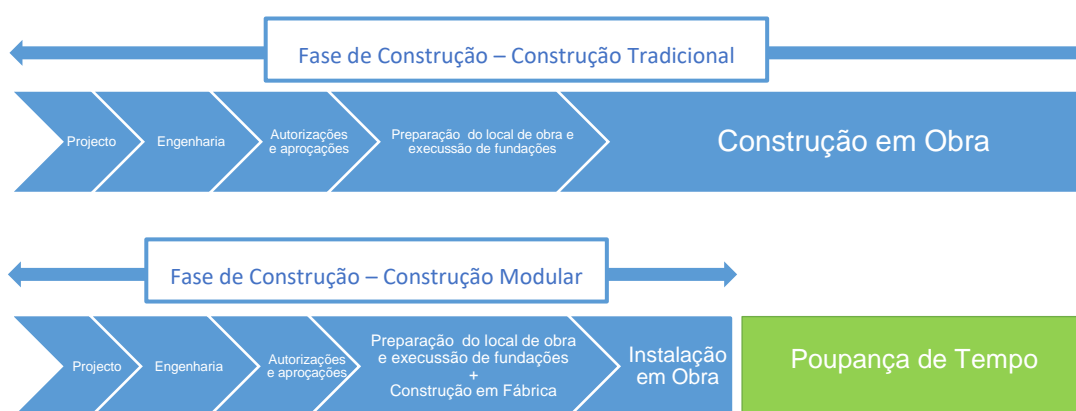


Figura 2.7 – Poupança de tempo com a construção modular (adaptado de Kamali & Hewage, 2016)

A construção modular pode poupar até cerca de 40% do tempo de construção, quando comparada com os métodos de construção tradicionais.

Alguma literatura defende que, no que toca à construção em altura, o número de pisos de um projecto executado através deste método construtivo, contribui para uma redução do tempo ganho em relação aos métodos de construção tradicionais, devido à maior complexidade de projecto exigida, embora esta redução se continue a verificar e continue a ser significativa (Kamali & Hewage, 2016).

- **Custo**

Os métodos de construção pré-fabricada podem conduzir a um menor custo global de projecto devido a uma relação de vários factores. De acordo com um estudo realizado pelo *Construction Industry Institute* (CII), citado em variadas literaturas, conclui-se que, em variados projectos de construção modular, existe cerca de 10% de redução no custo global da obra e 25% no trabalho em obra, uma vez que, a partir da produção de vários módulos é possível fazer uma gestão mais eficiente dos recursos e trabalhos a realizar, assim como reduzir o número de operários em obra.

A redução de custos pode também ser obtida devido a outros factores, como a redução da sobrecarga em obra, a possibilidade de evitar condições meteorológicas extremas, a standardização do projecto, o elevado nível de eficiência energética e maior eficiência na montagem.

No entanto, alguma literatura enfatiza o impacte do uso da construção modular pré-fabricada, no que toca ao custo do projecto, não ser muito clara em relação a uma série de variáveis. Por exemplo, a falta de acesso a informação financeira confidencial de projectos e o uso de equipamentos modernos estão entre as variáveis. Além disso, se os custos da construção modular não forem geridos de forma eficiente, os edifícios modulares podem tornar-se mais caros que os edifícios de construção tradicional, tanto no que toca a métodos racionalizados como não. Por exemplo, a redução de custos devido à redução do tempo da obra pode ser sobreposta pelos custos adicional inerente ao transporte e aos requerimentos extra no que toca ao projecto de engenharia (Kamali & Hewage, 2016).

- **Segurança em obra**

O factor de mortalidade na indústria da construção não teve qualquer alteração recentemente, mesmo com o abrandamento geral deste sector. Derivado da mutação constante da natureza dos trabalhos em obra, a construção modular apresenta muitas melhorias no que toca à segurança no trabalho, tanto pela natureza repetitiva dos trabalhos, como pelo facto do volume de trabalhos em fábrica reduzir bastante (cerca de 85%) o trabalho realizado em obra (Kamali & Hewage, 2016). Segundo Lawson *et al.* (2012, citado por Kamali & Hewage em 2016), a construção modular consegue um decréscimo de cerca de 80% dos acidentes em obra, comparativamente com os métodos de construção tradicionais.

- **Qualidade do produto**

O uso da construção modular permite alcançar uma melhoria da qualidade devido ao ambiente controlado em fábrica, em que são produzidos os componentes. A repetibilidade dos processos de concepção de elementos, assim como a utilização de maquinaria avançada, permitem alcançar um produto final com uma qualidade acima da média, sendo que, devido às pequenas e repetitivas tarefas exigidas aos operários, conduzem a uma rápida especialização, reduzindo a probabilidade de erros. Estes factores contribuem também para a melhoria relativamente à qualidade do produto. De facto, a chamada “curva de aprendizagem” (Figura 2.8) corrobora esta informação, conduzindo a menor número de danos ou erros. Para além disso, a redução da exposição dos materiais às condições meteorológicas em obra pode conduzir a uma melhor qualidade do edifício final (Kamali & Hewage, 2016).



Figura 2.8 – Curva de aprendizagem (Adaptado de: Protimplant, 2016)

- **Mão-de-obra e produtividade**

A construção modular e a pré-fabricação requerem mão-de-obra menos especializada em obra assim como trabalho menos complicado. A produtividade é também maior em projectos de construção modular, derivado à maior organização das operações e a mais intensiva supervisão das mesmas. Além destes factores pode apontar-se o facto da possibilidade de uma execução paralela de diferentes actividades em fábrica, levadas a cabo interruptamente, aumentando também, desta forma, a produtividade (Kamali & Hewage, 2016).

- **Performance ambiental**

Existem vários benefícios ambientais oferecidos pela construção modular, podendo destacar entre eles menor produção de resíduos derivado de um melhor planeamento, uma compra mais precisa de materiais, corte de materiais, assim como maiores oportunidades de reciclagem, possíveis devido ao processo ser executado maioritariamente em fábrica. É também possível no final do ciclo de utilização de um edifício modular, a sua desmantelação, remodelação e reutilização em outros projectos. Embora haja uma redução no número de resíduos, de forma a cumprir os requisitos estruturais dos edifícios modulares, são consumidos cerca de 10-15% mais materiais que no método de construção tradicional.

Para além disso, em comparação com os métodos construtivos tradicionais, que possuem uma série de problemas inerentes a estes métodos, durante o período de construção, nomeadamente ruído, poeiras, congestionamento e resíduos a construção modular apresenta uma melhor performance, proporcionando uma minimização dos distúrbios recorrentes em obra.

Em obra, a redução dos gases de efeito estufa, é outro dos benefícios dos sistemas modulares. A redução do tempo de construção conduz ao menor consumo de energia, derivado do menor número de deslocações dos operários, menor número de deslocações de fornecedores e subempreiteiros para os locais de obra (Kamali & Hewage, 2016).

ii) Desvantagens

Assim como relativamente às vantagens associadas à construção modular, também alguns autores se debruçaram até ao momento sobre a temática em causa, de forma a identificar as possíveis

desvantagens inerentes a este método construtivo, sendo que, os factores principais identificados são referidos seguidamente:

- **Projecto**

Um desafio significativo na pré-fabricação, pré-montagem e modularização é a necessidade intensiva do planeamento e engenharia do projecto prévio. O projecto modular é significativamente diferente do projecto convencional. Para além da complexidade do projecto modular, várias considerações são necessárias aquando da definição do modo de incorporação de diferentes componentes num módulo e aquando da sua mobilização e montagem. O projecto deve ser conduzido com maior precisão antes do início da produção e montagem dos componentes. É necessária a consideração de uma margem de manobra uma vez que é extremamente difícil proceder a alterações durante a fase de construção (Kamali & Hewage, 2016). Tal desafio é também apontado à construção tradicional racionalizada.

- **Restrições de transporte**

A logística de transporte tem um papel vital no que toca à viabilidade dos sistemas modulares. Antes de uma fase de projecto, a equipa de projectistas deve investigar as condições de transporte dos módulos na área de trabalhos, assim como proceder a um estudo dos regulamentos gerais de transporte e dos requisitos especiais de tolerância de tráfego. Usualmente não é possível transportar habitações fabricadas ou módulos completos para grandes distâncias, uma vez que é dispendioso e requer preparativos complexos, sendo que usualmente os fabricantes de elementos modulares definem uma distância máxima de transporte. O limite dimensional dos módulos é outra barreira, que se rege pelos regulamentos de cada país, podendo gerar dispêndios adicionais de tempo no que toca à necessidade de autorizações especiais para transporte de alguns componentes de dimensões superiores ao regulamento, ou mesmo constrangimento nas fronteiras quando está em causa o transporte internacional de componentes (Kamali & Hewage, 2016).

- **Percepção negativa**

Vária literatura denota uma percepção negativa por parte do público em relação aos métodos construtivos de pré-fabricação, tratando-se desta forma de um factor que condiciona significativamente o desenvolvimento deste método construtivo em todo o mundo. A construção modular e pré-fabricada é erroneamente ainda associada a um modelo de habitação móvel, sem características de habitação permanente, sendo então perceptível que este tipo de visão por parte dos usuários influencie negativamente a procura e o desenvolvimento deste tipo de construção (Kamali & Hewage, 2016).

- **Elevado custo inicial e restrições de obra**

É necessária uma elevada quantia de investimento inicial, de forma a ser possível a aquisição dos equipamentos e maquinaria necessária à composição de uma fábrica destinada à construção modular. A juntar a este factor, a economia local é um factor determinante para dar início a uma

actividade de serviços de construção modular (Kamali & Hewage, 2016). A juntar a estes factores temos a necessidade de grande investimento para criação de instalações, assim como para formação de pessoal.

- **Coordenação e comunicação**

Existe a necessidade de uma coordenação mais detalhada e eficiente em todas as fases, no que toca à construção modular, incluindo o anteprojecto, a aquisição de materiais, a calendarização de fornecimentos, instalação, construção e entrega da obra. É necessária uma comunicação frequente entre as entidades envolvidas (dono de obra, engenheiros, projectistas, fornecedores e empreiteiros) de forma garantir o acesso constante à informação relativa à obra (Kamali & Hewage, 2016).

iii) **Síntese**

O quadro síntese das vantagens e desvantagens da aplicação da construção modular poderá ser consultado no Anexo A.

2.5.1. Aplicações

Existem diversos exemplos de utilização da construção modular, mesmo que, tal como nos vários outros sectores da pré-fabricação, o recurso a este método de construção corresponda a uma pequena percentagem do sector actual da construção.

No entanto, este continua a demonstrar o seu imenso potencial, existindo actualmente inúmeros casos de sucesso de construção com recurso a este método construtivo, espalhados por todo o Globo.

De entre os casos identificados destacam-se os seguintes:

- **Habitat 67 – Montreal, Canadá**

Habitat 67 foi construído no ano de 1967 em Montreal, no Canadá. Concebido no intuito da Expo 67, trata-se de um marco histórico no que toca ao conceito de construção modular. O conjunto edificado é composto por 354 blocos pré-fabricados idênticos, dispostos com diferentes orientações e combinações, atingindo uma altura de 12 pisos. Em conjunto, os blocos formam 146 residências, originalmente 158 apartamentos, sendo que estas são formadas por aglutinação de vários módulos, variando entre uma e oito unidades (Figura 2.9) (Habitat67, s.d.).

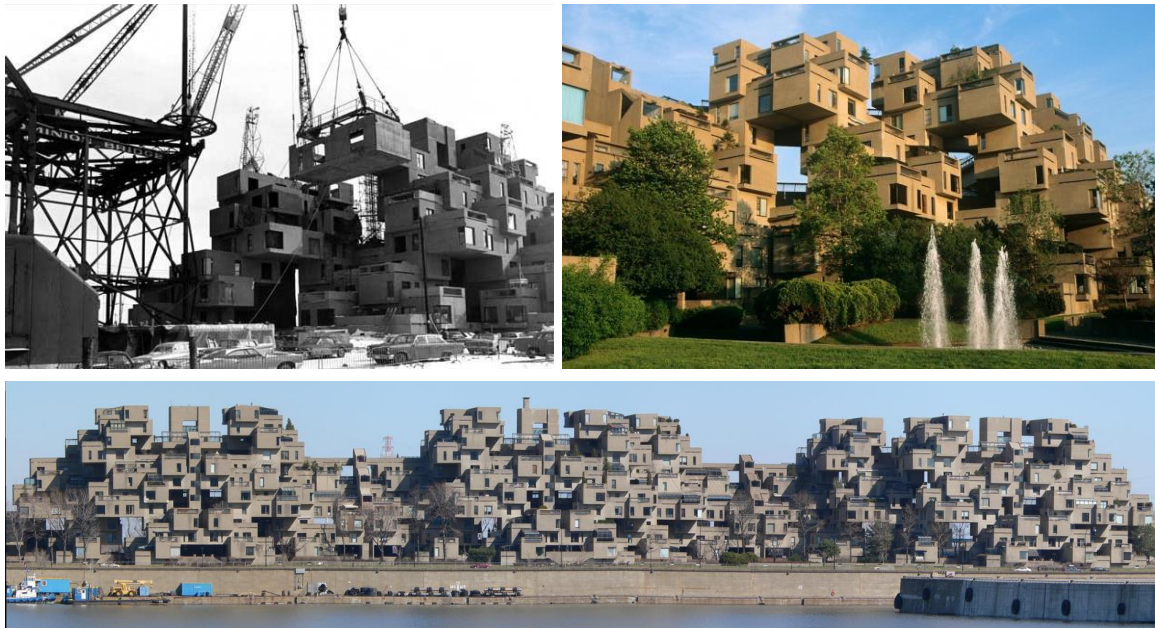


Figura 2.9 – Da construção à actualidade do Habitat-67 (Habitat67, s.d. ; The Guardian, 2016)

Os blocos foram colocados em altura com recurso a gruas fixas na área de construção, de forma a completar a sua complexa malha modular. Não existem referências de qual foi o tempo de execução do projecto, embora se possa estimar que foi bastante mais extenso que a curta extensão temporal, que os processos actuais permitem alcançar.

- **Nakagin Capsule Tower – Tokyo, Japão**

Construído no ano de 1972, este edifício é composto por duas torres de aço e betão armado interligadas, com 11 e 13 pisos respectivamente, que contêm 140 módulos pré-fabricados independentes, cuja sua finalidade varia entre habitação e escritório, sendo que cada cápsula é ligada a um dos dois eixos das torres, por parafusos de alta tensão, com a finalidade de ser possível a substituição de qualquer uma das cápsulas.

Actualmente, apenas cerca de 30 das cápsulas são utilizadas como escritório ou habitação, sendo que as restantes apenas são usadas para arrumação ou estão devolutas, justificando o facto de que até hoje nenhuma das cápsulas tenha sido ainda substituída desde a construção.

Os módulos pré-fabricados foram produzidos em fábrica e aplicados no local, sendo que estes foram transportados de fábrica completamente finalizados, incluindo até todos os equipamentos interiores dos módulos (Figura 2.10) (The New York Times, 2016).



Figura 2.10 – Aspecto das Torres ao longo dos anos e ilustração esquemática dos módulos (Arch Daily, 2016)

A construção das torres teve duas fases de construção, a primeira, que recorreu a métodos de construção tradicionais, diz respeito à execução dos eixos das torres, construídos em betão armado e aço, enquanto que, a segunda fase, recorreu à construção modular. A produção dos módulos terá tido início aquando da execução das torres, sendo que esta segunda fase de construção finalizou-se com a montagem dos componentes pré-fabricados nas respectivas torres construídas. A construção teve uma duração de dois anos.

- **David H Koch Childcare Center – Cambridge (Massachusetts), USA**

De forma a completar o Campus de Cambridge, o MIT procurou criar um espaço para desempenhar funções de creche. A procura de uma solução de rápida execução levou à utilização da construção modular (Figura 2.11).

Completado em 2013, todo o processo, desde o arranque do projecto à implantação do edifício, teve a duração de apenas 6 meses, sendo que a ocupação do local de implantação durou apenas 8 semanas, reduzindo desta forma o constrangimento do espaço decorrente da obra, não tendo sido necessário o cessar das actividades do Campus durante todo o período de construção (Figura 2.12) (Triumph, 2016).



Figura 2.11 – Creche modular em Massachusetts, USA (Triumph, 2016)



Figura 2.12 – Construção da creche – Transporte e colocação dos módulos pré-fabricados (Triumph, 2016)

O transporte das componentes modelares foi feito por camião e a colocação decorreu com o auxílio de um camião grua.

- **Newman Elementary School Sustainable Temporary classrooms – Needham (Massachusetts), USA**

O projecto correspondeu à instalação de 38 módulos pré-fabricados, com cerca de 3250m², com finalidade de salas de aula temporárias, de forma a permitir aos estudantes acesso a boas condições, no que toca ao espaço de ensino, durante as obras de requalificação da escola. O processo de construção teve a duração de apenas dois meses (Figura 2.13 e Figura 2.14) (Triumph, 2016).



Figura 2.13 – Salas de aula temporárias pré-fabricadas em Needham, Massachusetts (Triumph, 2016)

A colocação dos módulos foi executada de duas formas diferentes, sendo que parte dos módulos foram colocados pela descarga directa a partir dos camiões, que procederam ao transporte deste a fábrica, até ao local de implantação, com recurso a macacos hidráulicos, enquanto os restantes foram colocados com o auxílio de um camião grua.



Figura 2.14 – Colocação dos módulos pré-fabricados (Triumph, 2016)

- **Housing Project – Bagdade, Iraque**

O projecto de habitação decorreu no ano de 2013 na região de Bagdade, no Iraque, tendo surgido como uma necessidade urgente devido à carência habitacional e de equipamentos sociais, decorrente do pós-guerra que se verificava no país (Karmod - Prefabricated Technologies, 2016).

O projecto dizia respeito à construção pré-fabricada de 1884 unidades residenciais e de 16 148 m² de equipamentos sociais, que compreendiam todos os requisitos essenciais à população, desde escolas, jardim-de-infância, edifícios de comércio, clínicas, quartel de bombeiros, mercearias e uma mesquita. Todo o processo teve um período de execução de apenas 6 meses (Figura 2.15).



Figura 2.15 – Conjunto de habitações modulares pré-fabricadas após a sua montagem no local (Karmod, 2016)

A parede nas soluções de pré-fabricação

3.1. O painel de parede como elemento gerador de habitação

A definição dimensional de um painel de parede permite que se criem modelos de painéis e se definam as formas de ligação entre os mesmos, de forma que, uma vez agregados entre si, permitam a definição de módulos com as dimensões e características pretendidas. Permite gerar modelos de módulos habitacionais com as dimensões mais adequadas às diversas realidades, assim como conferir propriedades térmicas, acústicas e hidrófugas aos mesmos, adequadas à situação.

Pretende-se desta forma, estudar a matéria relativa a esta temática, de forma que seja possível desenvolver uma solução de painel de parede que permita, por agregação de múltiplos elementos deste tipo, criar por sua vez um módulo de habitação, que satisfaça as necessidades espaciais de uma habitação, assim como as necessidades de conforto higrotérmico, acústico e de impermeabilidade, exigidas por uma habitação condigna.

3.1.1. Potencial de modelar a partir de um painel de parede

Como já foi referido, a construção modular implica a assemblagem das componentes pré-fabricadas em fábrica, de forma a formar módulos antes de serem transportados e montados em obra. Não obstante, os elementos pré-fabricados, tomando por elemento o painel de parede, podem enquadrar-se no tipo *sandwich*, permitindo desta forma a selecção dos materiais mais indicados para a constituição das paredes, que darão origem aos módulos habitacionais, de forma que estas se adequem o melhor possível às exigências do projecto (Figura 3.1).

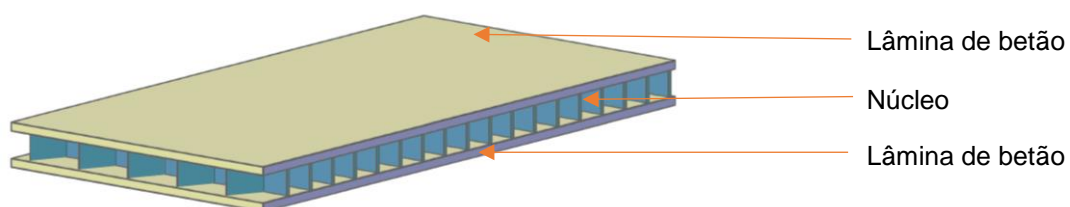


Figura 3.1 – Representação esquemática de um painel pré-fabricado do tipo *Sandwich* (Adaptado de Marques, 2012)

Os painéis tipo *sandwich* são realizados usualmente em betão armado e constituídos por três camadas. A camada exterior é responsável por conferir propriedades estruturais, sendo

habitualmente de betão armado, assim como, usualmente, a camada interior, embora a componente estrutural desta seja menos relevante que na primeira. Ambas as camadas são separadas por uma caixa-de-ar parcialmente preenchida com um conjunto de materiais, que formam então a terceira camada, o núcleo, de forma a conferirem propriedades resistentes, tanto na componente térmica como acústica, ao painel de parede. Estes painéis apresentam diversas tipologias, obtidas com base em diferentes configurações e combinações do núcleo do painel (Marques, 2012).

Conclui-se então que o painel *sandwich* é um exemplo de uma boa solução a utilizar para a produção dos painéis de parede, sendo que, desta forma, esta foi a solução adoptada para que se tente atingir o objectivo final da corrente Dissertação.

- **Painel tipo Sandwich**

Com o correr do tempo e com o desenvolvimento da tecnologia, os requisitos exigidos aos materiais sofreram alterações, no sentido de ser possível desenvolver materiais com melhor desempenho. Esta evolução conduziu ao desenvolvimento e utilização dos chamados materiais compósitos, que resultam da combinação de dois ou mais materiais, os quais, por si só, não cumprem os requisitos exigidos pela construção, mas que, quando aplicados em conjunto, com uma superfície de contacto adequada, criam um novo material, possibilitando assim atingir óptimos valores de desempenho e permitindo atingir os requisitos impostos, combinando as propriedades positivas de ambos e podendo até minimizar as negativas.

3.1.2. Formas de agregação dos painéis – ligação

Diferentes projectos requerem diferentes cuidados na concepção e pormenorização das ligações entre painéis, de modo a se obterem soluções com bom desempenho no que toca à resistência estrutural, ao nível estético e económico.

O facto de os elementos serem pré-fabricado, faz com que estes tenham limitações dimensionais, inerentes ao transporte e montagem dos elementos, sendo então necessário dispor de métodos que estabeleçam a ligação entre os diferentes painéis, existindo então várias soluções para o efeito, sendo que se deverá seleccionar, em cada caso, a que mais se adequa ao local e à finalidade que o painel desempenhará.

- **Elementos de ligação entre painéis do tipo *sandwich***

É fulcral definir o tipo de ligação entre os painéis, tanto no que toca à ligação entre painéis de parede, como entre os painéis de parede e os painéis de laje. As ligações apresentadas dizem respeito a ligações capazes de cumprir ambas as vertentes de ligação.

A Figura 3.2 demonstra tipos comuns de ligação entre painéis planares do tipo *sandwich* (Lopes B., 2012).

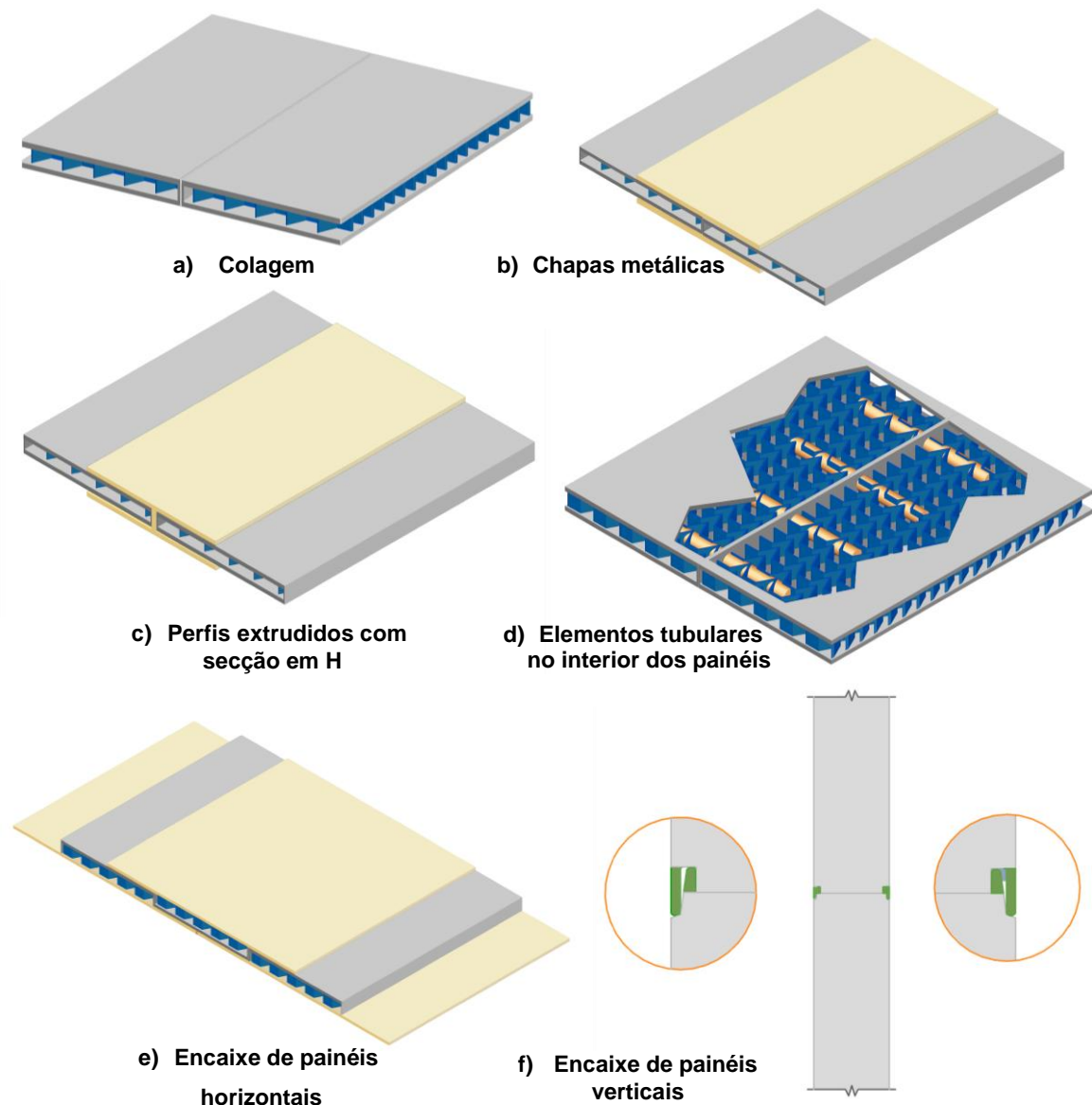


Figura 3.2 – Ligações de painéis do tipo *sandwich* – encaixe de juntas reforçado com parafusos (Adaptado de Lopes, 2012)

As ligações apresentadas representam diferentes tipos de ligação utilizados em painéis pré-fabricados do tipo *sandwich*. A ligação por colagem (Figura 3.2 a)) terá de ser efectuada com máxima aderência e é necessário garantir o nivelamento das juntas, embora a colagem crie problemas ao nível da reutilização dos painéis. As ligações por encaixe (Figura 3.2 e) e f)), devem ser complementadas com colagem. Outro tipo de ligação frequente é a adição de elementos auxiliares de ligação como chapas laterais e perfis encaixe (Figura 3.2 b), c) e d)), sendo que, estas ligações permitem a utilização de diferentes materiais nas zonas de ligação, possuindo diferentes propriedades térmicas, acústicas, de resistência, entre outros (Lopes, 2012).

Para ligação de painéis ortogonais entre si, a Figura 3.3 apresenta algumas das soluções possíveis de aplicar, tanto no caso de união entre painéis “em T” como em “L”. No que toca ao caso do remate

simples, a união pode ser feita apenas com recurso a remates simples, sendo difícil, desta forma, assegurar a estanquidade perfeita, com recurso a elementos extrudidos em “L”, redondos, de forma a criar esquinas curvas, ou até com formas mais complexas. No caso de ligações em “T”, os painéis podem ser unidos também por elementos extrudidos ou através de encaixes (Lopes, 2012).

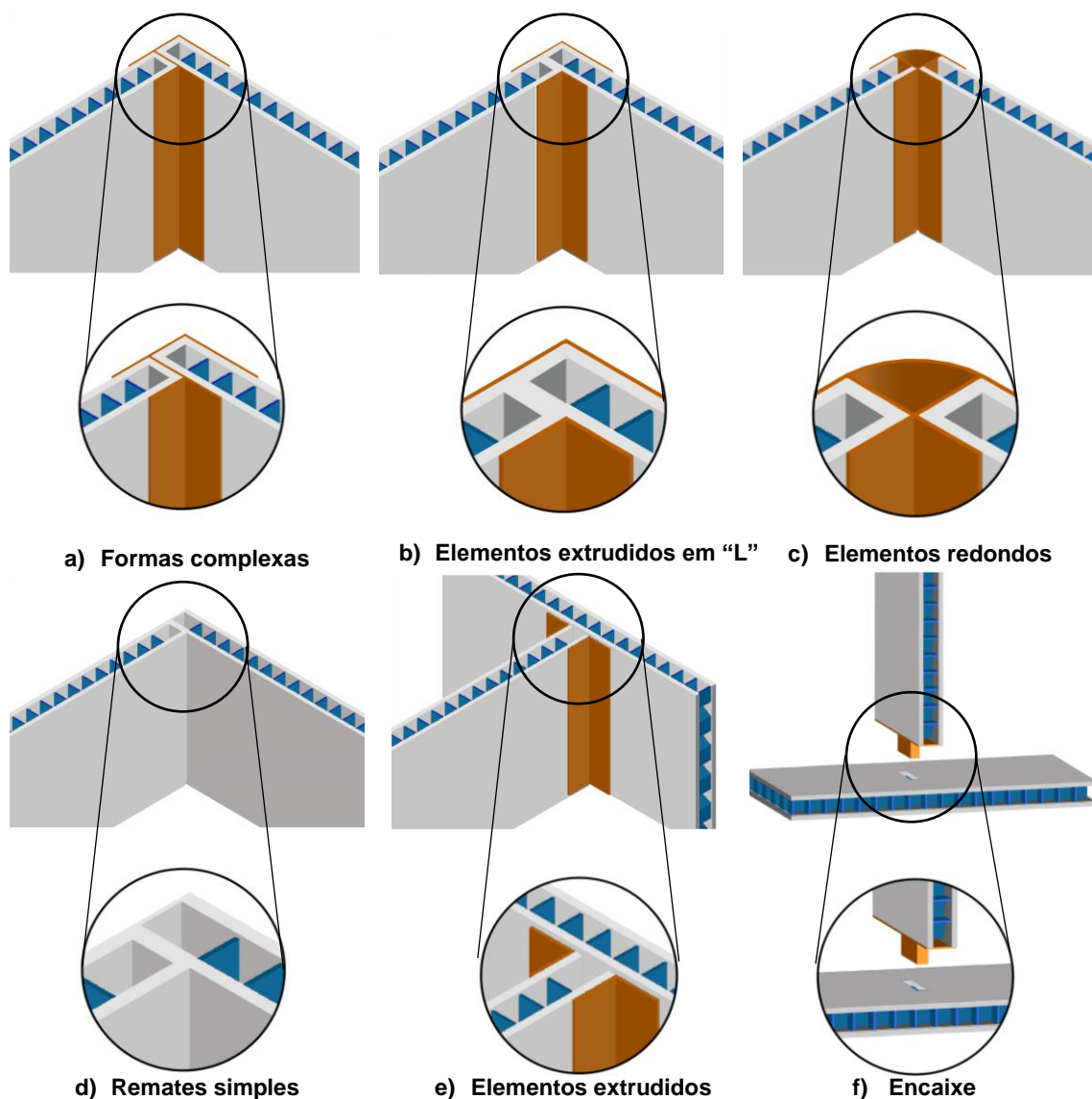


Figura 3.3 – Ligações de painéis dispostos em “L” e em “T” (Adaptado de Lopes, 2012)

Os elementos anteriormente representados deverão ser rigorosamente amarrados aos painéis de forma a garantir uma ligação sólida, não só entre si e os painéis pré-fabricados, mas também garantir uma fixação óptima entre os diferentes painéis. Estas ligações são normalmente executadas com recurso ao aparafusamento destes elementos aos devidos painéis. Esta ligação deve ser rigorosa, no que toca à sua correcta colocação espacial relativamente ao painel, uma vez que, condicionará o encaixe do seguinte painel, e, sendo que, os painéis necessitam de ser rigorosamente alinhados, de forma a cumprirem funcionalmente o seu propósito, assegurando desta forma um bom desempenho, não só mecânico, como de impermeabilidade.

- **Elementos de ligação interiores dos painéis do tipo *sandwich* - Conectores**

No que toca aos painéis do tipo *sandwich*, para além das ligações entre painéis há que ter em conta a necessidade de existência de ligações interiores. Uma vez que os painéis são constituídos por várias camadas diferenciadas, é necessário proceder à fixação destas mesmas entre si, de forma que estas se comportem como um elemento único.

Exceptuando os critérios mecânicos, as ligações entre lâminas devem cumprir uma série de requisitos em relação à resistência, ductilidade e durabilidade.

Uma vez que o seu núcleo é constituído por materiais de baixa densidade, a ligação entre as camadas é obtida por intermédio de conectores, dando origem a uma estrutura capaz de apresentar resistência mecânica considerável, ao ponto de conseguir responder às mais variadas aplicações.

Quanto à configuração, podem distinguir-se dois tipos de painéis tipo *sandwich*, de acordo com os materiais constituintes do núcleo, subdividindo-se segundo núcleos homogêneos e núcleos não homogêneos ou estruturados (Lopes B. , 2012).

- Núcleos homogêneos: Usualmente constituídos por espumas, materiais orgânicos, diferentes tipos de plásticos expandidos, madeira, betão leve ou produtos de argila.
- Núcleos não homogêneos: Podem ser distinguidos em núcleos canelados, núcleos de favos de mel e painéis, solução a qual é suportada apenas por elementos pontuais, enquanto que os homogêneos podem ser colados aos painéis estruturais. Os núcleos canelados são constituídos por células abertas, na direcção das lâminas, ligadas pontualmente às duas lâminas do painel, podendo apresentar-se de diferentes formas. Contrariamente, os núcleos de favos de mel são constituídos por células abertas na direcção transversal às lâminas, possibilitando um suporte bidireccional das mesmas (Lopes B. , 2012). Na Figura 3.4 é possível observar os diferentes tipos de núcleo, de acordo com as diferentes formas de ligação (Lopes B., 2012).

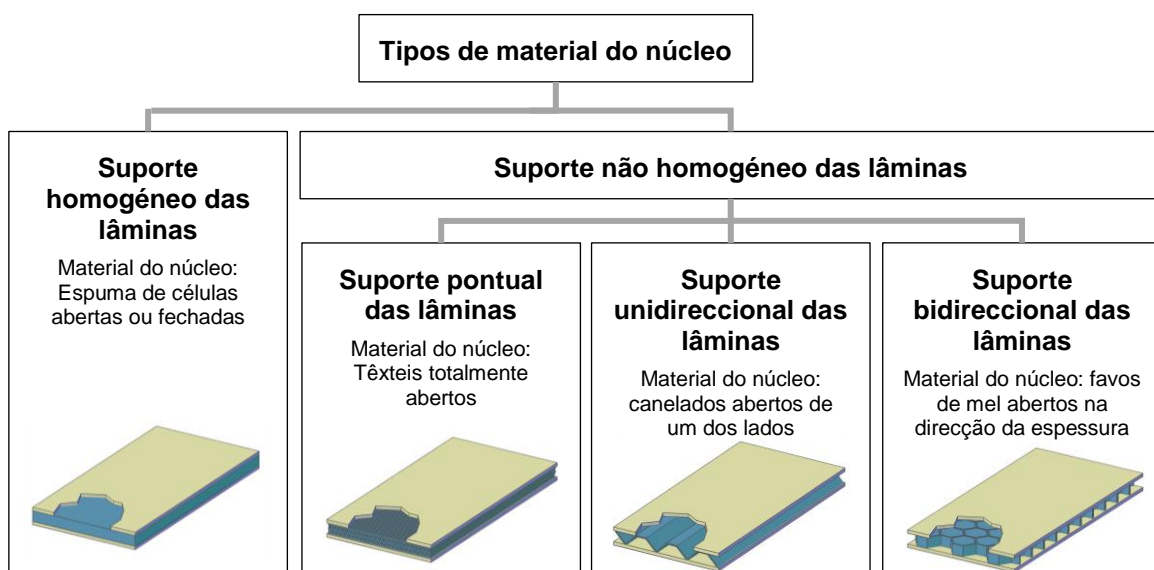


Figura 3.4 – Esquema representativo dos tipos de painel *sandwich* por caracterização de material (adaptado de Lopes, 2012)

São vários os factores que influenciam a escolha do núcleo dos painéis tipo *sandwich*, tais como o desempenho mecânico, o processo de fabrico, as propriedades térmicas e acústicas, o factor económico, entre outros.

O comportamento mecânico dos painéis, ou seja, o cumprimento dos requisitos do projecto a nível funcional e de fabrico, está inteiramente dependente das lâminas exterior e interior do mesmo.

A nível funcional, existem algumas características exigidas às lâminas do painel, como é exemplo a estanquidade à água e ao vapor de água e o isolamento sonoro, enquanto que a nível estrutural é indispensável uma resistência adequada, tanto às solicitações impostas por carregamentos, como uma adequada resistência ao fogo e, caso disponha de armaduras de aço, a qualidade do betão e a espessura do recobrimento das lâminas deve ser capaz de evitar a ocorrência de fenómenos de corrosão. A rigidez da secção e a resistência dos materiais constituintes devem assegurar a estabilidade do painel para os estados limites de utilização últimos.

A utilização de conectores nos painéis do tipo *sandwich* permite um aumento da resistência ao corte e garante que o conjunto das camadas se comporte como um único elemento, sem que ocorram deslocamentos significativos entre os elementos constituintes dos painéis.

Existem vários tipos de sistemas de painéis do tipo *sandwich*. Estes podem ser classificados consoante o tipo de conectores que utiliza (Figura 3.5), sendo que os principais tipos de conectores existentes consistem em sistemas de nervuras de betão, elementos de aço ou a combinação destes dois, ou seja, um painel composto (Lopes B. , 2012).

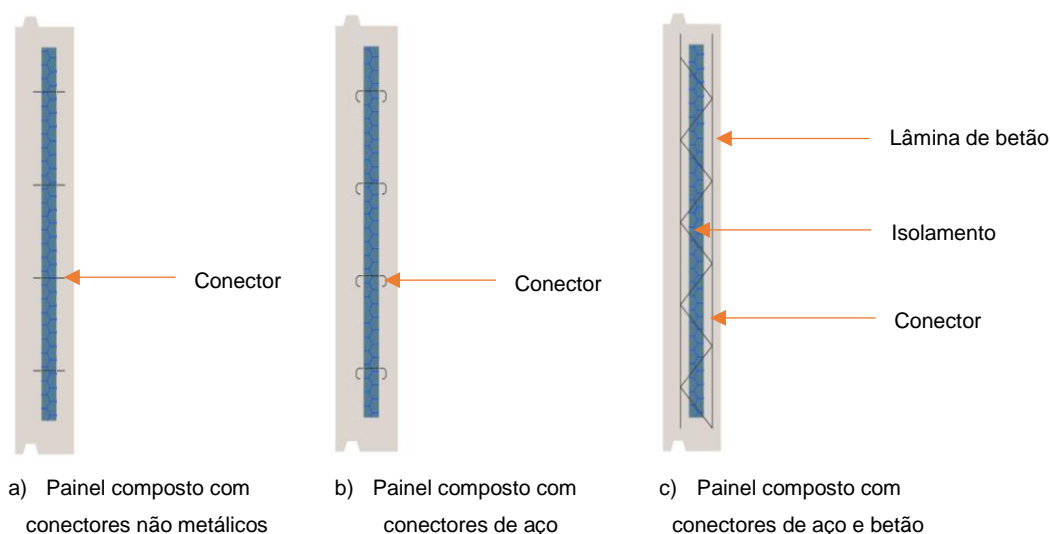


Figura 3.5 – Exemplos comuns de diferentes sistemas de ligação interior dos painéis (Adaptado de Lopes, 2012)

O sistema de conectores provoca uma redução significativa da eficiência térmica do painel, sendo que, na perspectiva de manter o nível estrutural e térmico, têm sido propostos ao longo dos anos, conectores de matriz polimérica reforçada com fibras contínuas (FRP). A eficiência obtida através do uso de FRP, quando comparado com o uso de conectores de aço, para as mesmas condições

climáticas, apresentam valores de 13 a 30% superiores, relativamente à resistência a picos de temperatura, calor e frio respectivamente (Lopes B. , 2012).

3.2. Potencial das diferentes formas de ligação

No capítulo anterior foram apresentadas uma série de diferentes tipos de ligação entre painéis pré-fabricados, identificados na Figura 3.2 de a) a f) e na Figura 3.3 de a) a f). Com vista à definição da melhor solução para o caso de estudo da presente dissertação, realizou-se uma análise das diferentes formas de ligação.

- Colagem (Figura 3.3 (a)) – Este tipo de ligação é sempre dependente da existência de colas especiais, de forma a que estas consigam conferir resistência mecânica à ligação entre painéis, sendo que se torna bastante difícil encontrar uma cola natural, endémica de Cabo verde, que cumpra tais requisitos. A utilização de produtos de colagem não permite a reutilização dos painéis.
- Chapas metálicas (Figura 3.2(b)) – Este método também prevê a colagem entre os elementos, sendo que os painéis metálicos têm finalidade de elementos de reforço da ligação e de garantia do correcto alinhamento dos mesmos. Assim sendo, esta solução apresenta o mesmo problema identificado na a) da mesma figura. No entanto será possível a inserção de elementos de aparafusamento, de forma a reduzir a necessidade de resistência da cola.
- Perfis extrudidos com secção em “H” (Figura 3.2 (c)) – O encaixe dos painéis promove uma melhoria no alinhamento dos painéis, embora esta ligação implique a possibilidade de criação de pontes térmicas, dependente do material utilizado para executar os perfis em “H” inerentes à solução.
- Elementos tubulares no interior dos painéis (Figura 3.2 (d)) – A utilização de elementos tubulares no interior dos painéis confere uma grande melhoria no que diz respeito à resistência da ligação entre os painéis, embora o material constituinte dos mesmos deva ser devidamente estudado, para que as zonas em que estes se inserem não vejam reduzida a sua resistência à passagem de calor ao longo do painel onde se inserem.
- Encaixe de painéis horizontais (Figura 3.2 (e)) – O encaixe de painéis horizontais permite também um correcto posicionamento entre painéis, sendo que partilha as dificuldades assumidas por a) e b).
- Encaixe de painéis verticais (Figura 3.2 (f)) – Esta solução destina-se à ligação vertical entre painéis, sendo que, na perspectiva da criação do módulo habitacional em causa, esta poderá não ter qualquer necessidade de aplicação, consoante a futura definição das dimensões dos painéis.
- Formas complexas (Figura 3.3 (a)) – Esta solução promove um correcto posicionamento dos painéis, embora possa introduzir pontes térmicas, tal como em c), sendo necessário ter em conta o mesmo tipo de preocupações.

- Elementos extrudidos em “L” (Figura 3.3 (b)) – Embora esta solução não seja tão eficiente na garantia de um correcto posicionamento dos painéis como a g), esta apresenta melhorias no que toca à redução da possibilidade de criação de pontes térmicas no ponto de ligação entre painéis.
- Elementos redondos (Figura 3.3 (c)) – Esta solução é bastante similar à solução apresentada em g), diferindo geometricamente e promovendo uma separação dos painéis, dando origem a uma zona de ligação que deverá ser devidamente pensada de forma a não favorecer grandes trocas de calor, ou seja, de forma a não dar origem a pontes térmicas.
- Remates simples (Figura 3.3 (d)) – Esta solução apresenta a mesma problemática da solução a), embora, a esta acresça o facto de um dos painéis ficar necessariamente com uma das faces laterais exposta, sendo que estas não são preparadas para ser aplicadss em contacto com o exterior.
- Elementos extrudidos (Figura 3.3 (e)) – É correntemente utilizado para ligação de painéis interiores a painéis exteriores ou de qualquer um deles a lajes. A sua ligação poderá ser efectuada com recurso a colas, mas, também, imperativamente, com recurso a elementos de aparafusamento entre os pinéis e o elemento de ligação.
- Encaixe (Figura 3.3 (f)) – A sua finalidade é semelhante à solução e), diferindo no facto de esta não ser perceptível ao utilizador, uma vez que é executada por encaixe de uma das extremidades dos painéis ao painel adjacente.

3.3. Problemas que podem surgir nos pontos de ligação entre painéis

Existe uma série de problemas que podem surgir relativamente ao desempenho e à utilização de painéis pré-fabricados, sendo que é fulcral estudar cada um deles de forma a mitigar os mesmos.

Podem surgir problemas ligados especificamente aos critérios de desempenho higrotérmico, acústico ou de impermeabilização, como são exemplo deficiências que não garantam o comportamento exigido por qualquer um deles, como pontes térmicas, zonas de propagação de ruído, ou até zonas permeáveis à água da chuva.

Para além destas problemáticas, há que referir que, um dos mais preocupantes problemas que poderão surgir nos referidos pontos são mecânicos, relacionados com deficiências de transmissões de cargas entre painéis e possível rotura das ligações, podendo conduzir a graves problemas estruturais, ou mesmo ao colapso da estrutura.

Há também que referir que as extremidades dos painéis constituem zonas de maior fraqueza, mais susceptíveis a impactes locais e a degradação, sendo então a sua selagem um aspecto importante a resolver, de forma a reduzir a possibilidade de ocorrência dos problemas anteriormente referidos.

3.4. Requisitos de desempenho das soluções de pré-fabricação de painéis de parede

Embora a presente Dissertação preveja que, o desenvolvimento dos painéis de parede, sejam dimensionados para a realidade do território de Cabo Verde, por falta de alguma regulamentação nas áreas abordadas, são considerados alguns regulamentos previstos pela legislação Portuguesa, de forma que seja possível considerar valores de dimensionamento adequados aos requisitos exigidos aos painéis de parede, e consequentemente aos módulos habitacionais.

i) Higrotérmico

De modo a que seja possível definir as condições de desempenho, no que toca ao comportamento higrotérmico, é necessário antes de tudo, proceder a uma avaliação climática das zonas alvo do projecto. Visto que no seu conjunto, Cabo Verde apresenta um largo espectro de condições climáticas e uma vez que se considerou como caso de estudo a cidade de Praia, procedeu-se a uma avaliação das condições desta localização específica.

Com base no Plano Director Municipal da Praia (PDMP), actualmente vigente, foram recolhidos os valores relativos ao clima do município, relativos a temperatura, humidade relativa, insolação, vento e pluviometria, de forma que seja possível proceder à avaliação anteriormente mencionada.

De forma a gerar uma avaliação de valores válida, foram considerados os dados climáticos entre os anos 1981 e 2000, visto que de entre os factores climáticos considerados, o PDMP apenas apresenta dados em anos comuns neste intervalo temporal.

• Temperatura

A temperatura média registada entre 1981 e 2000 em Praia foi de 25,1°C, enquanto que a máxima e mínima temperaturas médias mensais registadas foram de 28,5°C e 21°C, respectivamente, permitindo concluir que se verifica uma pequena amplitude térmica anual (Figura 3.6).

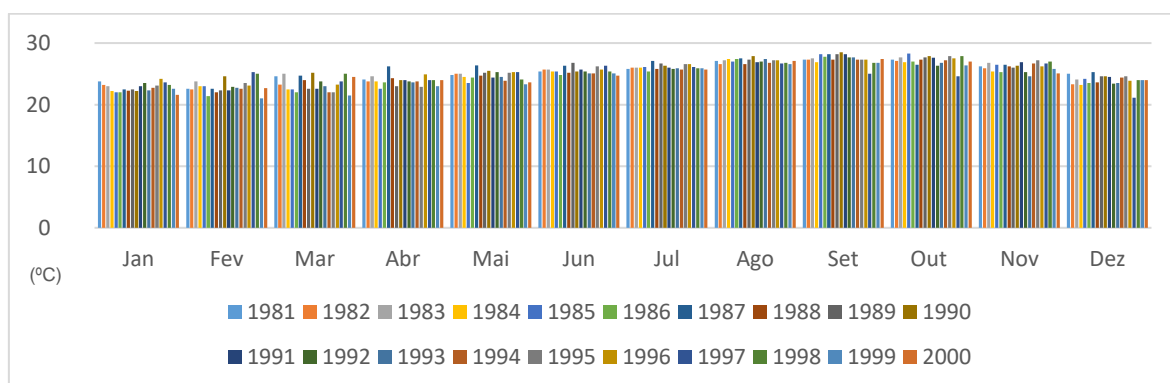


Figura 3.6 – Dados relativos à temperatura média mensal em Praia (PDMP)

- **Humidade Relativa**

Quanto à humidade relativa média, através da análise dos dados relativos ao intervalo de anos considerado, conclui-se que esta apresentou o valor de 67,9%, sendo que os valores máximos e mínimos registados, tendo em conta as médias mensais de cada um dos anos entre 1981 e 2000, são de 50,7% e 82,1%. Os valores mais elevados são atingidos durante o período nocturno, devido à proximidade ao mar e devido aos ventos alíseos registados nesta zona do arquipélago, sendo que, pelo contrário, os valores mais baixos se registam devido aos ventos provenientes do quadrante Este durante a estação seca (Figura 3.7) (PDMP, 2013).

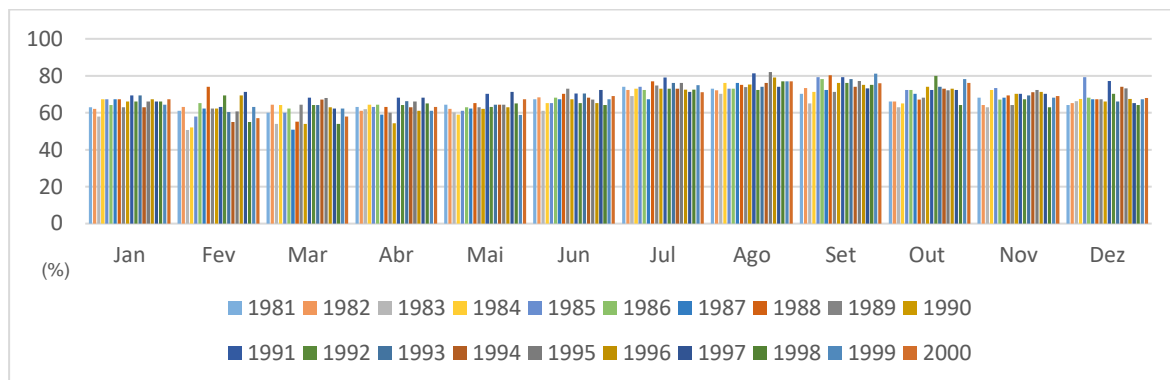


Figura 3.7 – Dados relativos à humidade relativa média mensal em Praia (PDMP)

- **Insolação**

No que toca à insolação incidente sobre a cidade da Praia, registaram-se valores médios mensais de 218,7 horas mensais, ou seja, cerca de 7,1h por dia, sendo que este elevado valor se deve à fraca nebulosidade existente e devido ao largo período seco que se faz sentir durante o ano. Em Abril e Maio os valores registados são muito elevados (Figura 3.8).

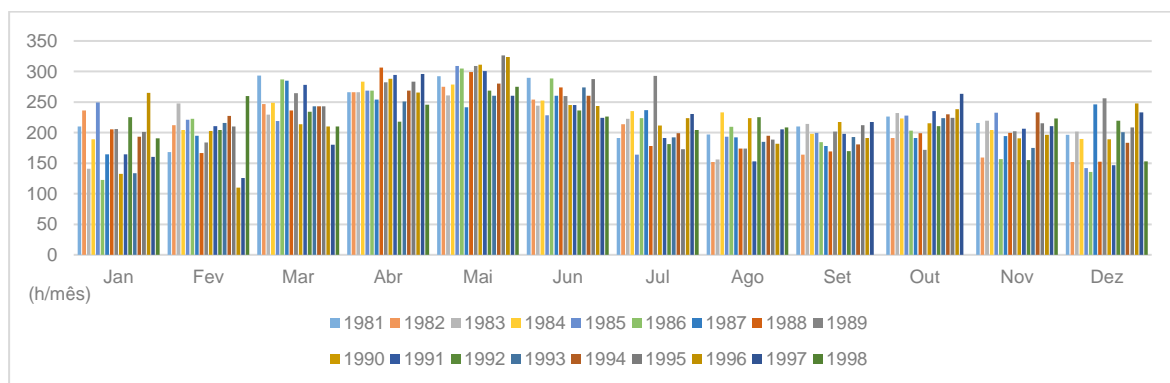


Figura 3.8 – Dados relativos à insolação média mensal em Praia (PDMP)

- **Vento**

A velocidade do vento apresenta um valor médio no intervalo entre 1981 e 2000, de 6,3 m/s, sendo que o máximo valor médio mensal registado é de 10,8 m/s e o mínimo de 3,4 m/s (Figura 3.9).

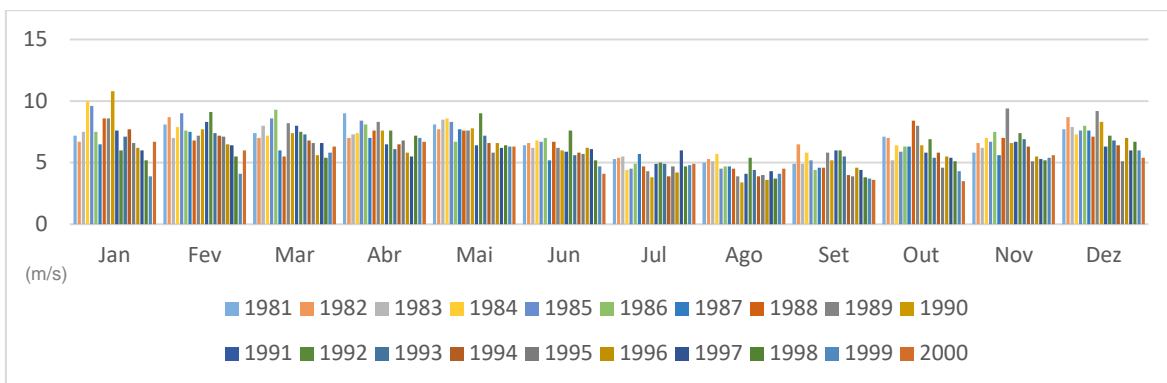


Figura 3.9 – Dados relativos à velocidade do vento média mensal em Praia (PDMP)

- **Precipitação**

A precipitação média registada entre 1981 e 2000 tem o valor de 191,1 mm, sendo que a precipitação média anual máxima registada neste período é de 388,7 mm e a mínima de 41,0 mm.

Pela avaliação da Figura 3.10, pode-se concluir que existe uma grande variação da precipitação em Praia. Esta variação acontece não só temporalmente mas também espacialmente. As precipitações ocorrem frequentemente na forma de chuvadas fortes, podendo os valores registados ter sido alcançados na sua totalidade em apenas duas ou três chuvadas isoladas. (PDMP, 2013).

No que toca à precipitação média diária registada no mesmo período, o valor registado é de 58,2 mm, sendo a máxima precipitação média diária registada de 120 mm e a mínima de 14,9 mm.

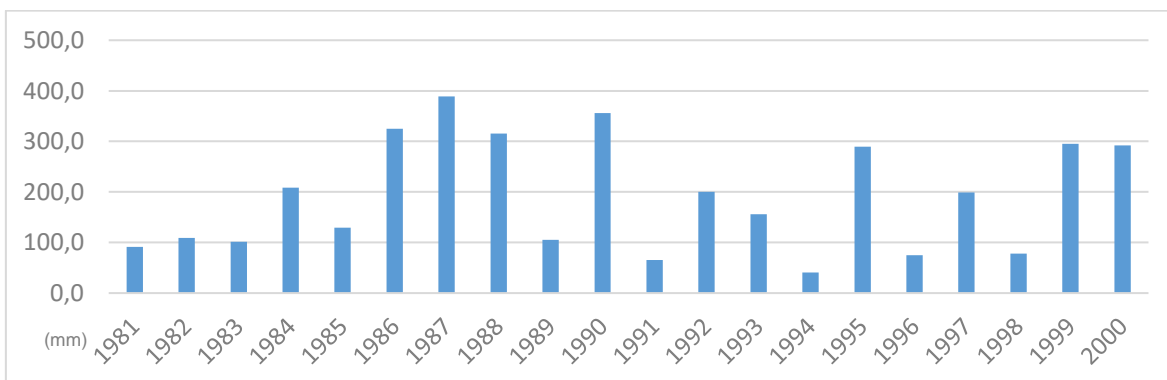


Figura 3.10 – Dados relativos à precipitação média anual em Praia (PDMP)

- **Análise do conforto higrotérmico**

Com base nos dados obtidos, foram analisados para cada mês, ao longo do intervalo de anos considerados, os três valores mais altos no que toca à temperatura média mensal e, uma vez que se considera serem estes os casos mais propícios a constituírem problemas de conforto térmico, em conjunto com os dados de humidade relativa mensal correspondentes a estas mesmas datas, procedeu-se à avaliação do conforto higrotérmico, recorrendo ao diagrama bioclimático de Givoni (Figura 3.11).

Givoni é considerado até à actualidade como um dos maiores especialistas em arquitectura bioclimática, destacando-se principalmente pela publicação do livro “Man, Climate and Architecture” no ano de 1969. Focou o estudo bioclimático do edifício sobre um diagrama psicrométrico, a partir do qual é possível determinar as soluções de conforto higrotérmico no interior de um edifício, consoante a marcação dos valores médios de temperatura e humidade relativa num determinado instante temporal. Procedeu ao estudo da divisão do diagrama psicrométrico em várias áreas distintas que dizem respeito a soluções para garantia do conforto térmico consoante o clima. Estas divisões sobre o diagrama psicrométrico dão origem a um diagrama designado por diagrama bioclimático, que foi alvo, ao longo dos anos, de algumas modificações por variados autores, incluindo o próprio, sendo que nos anos 70, terá elaborado uma série de correcções do mesmo, de forma a proceder a uma melhor avaliação no que diz respeito aos climas tropicais e subtropicais (Universidad Ricardo Palma, 2014).

O diagrama bioclimático de Givoni possibilita uma boa avaliação no caso do clima de Cabo Verde, tendo então sendo tomado como solução à análise do conforto térmico no país.

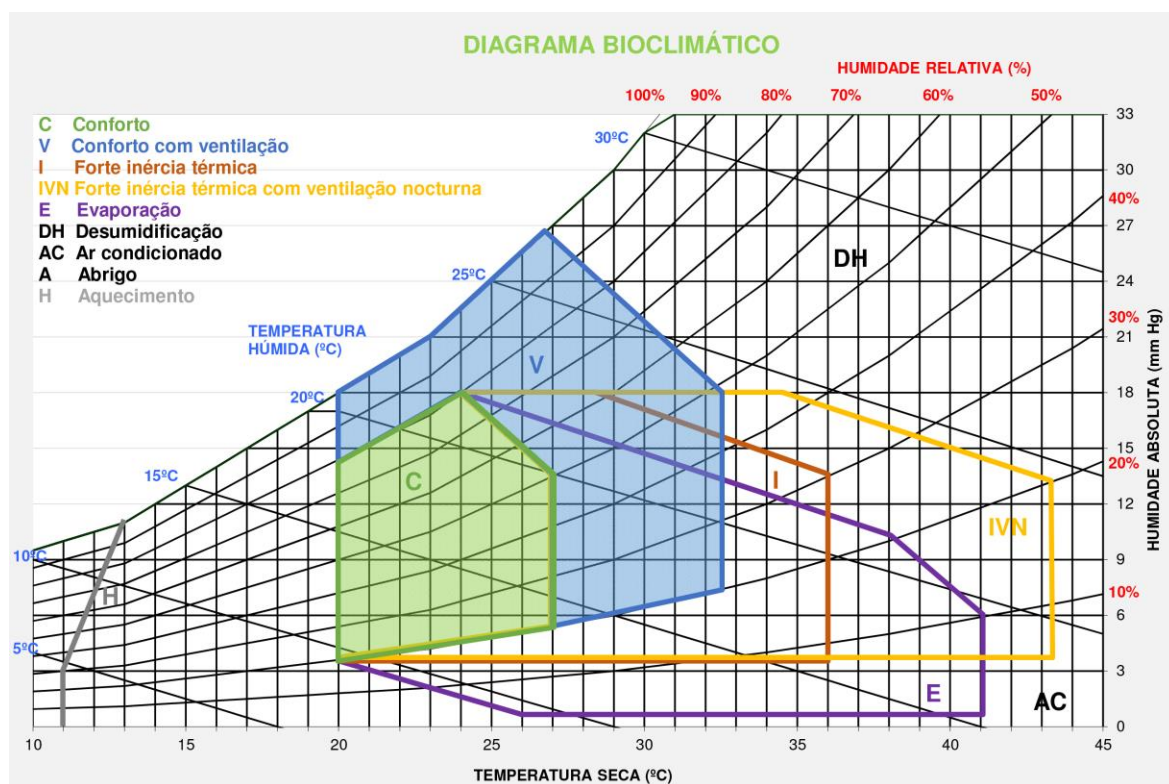


Figura 3.11 – Diagrama Bioclimático de Givoni (Adaptado de Miliarium.com, 2005)

Este diagrama subdivide o diagrama psicrométrico em diferentes zonas, definindo um leque de soluções a adoptar de forma que se cumpram os requisitos de conforto higrotérmico impostos para o interior da habitação.

A Tabela 3.1 sintetiza os três casos, formados por uma selecção aleatório de resultados de Janeiro a Dezembro, seleccionados de entre os mais gravosos ao longo do espectro de anos avaliado, dividindo-os em caso 1, caso 2 e caso 3, de forma que seja possível proceder a uma avaliação mais completa no que toca à despistagem de possíveis anomalias mensais dos valores considerados.

Tabela 3.1 – Dados das médias mensais mais elevadas, relativos a temperatura (T) e humidade relativa (HR) referentes aos mesmos (PDMP)

Caso de estudo	Dados	Estação seca (ES)							Estação das chuvas (EC)			ES	
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Caso 1	T (°C)	23,8	24,6	25	24,6	26,5	26,5	27	27,5	28	28,5	26,9	25
	HR (%)	63	62,2	53,9	61,9	62,2	67,3	67,3	76,2	79,2	72,3	70,3	64,2
Caso 2	T (°C)	24	25,5	25	26	25,5	26,8	26,6	27,9	28	27,9	27	25,5
	HR (%)	67,3	71,2	54	59	62,1	73,1	76,1	75,2	79,2	74,1	72,3	67,3
Caso 3	T (°C)	23,6	25	25	24,9	25,5	26,5	26,6	27,5	28,5	27,9	27	24,6
	HR (%)	66,1	55,0	54,0	61,0	63,0	72,4	72,5	74,1	76,2	72,2	63,0	67,3

Uma vez que os dados disponíveis dizem respeito a temperaturas médias mensais, assim como humidades relativas mensais, e uma vez que, para efectuar este tipo de análise é necessário conhecer os valores máximos e mínimos mensais destes dois factores, recorreu-se aos valores de amplitude térmica e de humidade máximas, (6°C e 25% respectivamente), procedendo-se a um cálculo aproximado das temperaturas máximas e mínimas mensais, assim como da humidade relativa máxima e mínima mensal, de forma a ser possível efectuar a avaliação pelo referido método.

É de referir que as amplitudes consideradas são máximas, ou seja, não correspondem a amplitudes verificadas em todos os meses do ano, sendo que, em alguns meses, as amplitudes verificadas são abaixo das consideradas. No entanto, ao considerar-se as amplitudes máximas, procede-se a uma avaliação conservativa das condições climáticas registadas ao longo do ano.

A tabela referente a estes valores poderá ser consultada no Anexo B, de modo a facilitar a compreensão dos respectivos gráficos referentes às avaliações mensais para cada um dos três casos avaliados, apresentados por sua vez nos Anexos C, D e E.

Após ser traçada a recta correspondente a cada mês sobre o diagrama de Givoni e tendo em conta a região do gráfico em que cada recta se situa, é proposta uma ou mais medidas a adoptar para obtenção do conforto térmico, sendo que, estas foram divididas de 1 a 5 da seguinte forma:

1 - Conforto sem inércia térmica: Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.

2 - Conforto com inércia térmica: É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.

3 - Conforto com inércia térmica e ventilação: É possível um conforto permanente no interior de um edifício com forte inércia térmica e realizando uma ventilação nocturna eficaz. São necessárias massas térmicas com grande superfície de troca. Será necessária ventilação nas horas de maior calor.

4 - Conforto com refrigeração natural por evaporação: Pode aplicar-se uma técnica de evaporação para refrigerar o ar: o ar exterior humidifica fazendo-o passar por um material poroso e húmido. Introduce-se no edifício, misturando-se com o ar interior numa adequada proporção.

5 - Conforto com climatização artificial: É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.

A Tabela 3.2 que se segue traduz de forma sintética os resultados recolhidos através da avaliação de cada um dos resultados.

Tabela 3.2 – Soluções a adoptar para garantia do conforto térmico ao longo do ano – Casos 1, 2 e 3

	Caso 1					Caso 2					Caso 3				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Janeiro	■					■	■				■	■			
Fevereiro	■	■				■					■	■			
Março	■	■				■	■				■	■			
Abril	■	■				■	■				■	■			
Maio	■					■					■				
Junho	■		■			■					■				
Julho	■		■			■					■				
Agosto	■				■					■					■
Setembro					■					■					■
Outubro					■					■					■
Novembro	■					■					■				
Dezembro	■	■				■					■	■			

De forma a normalizar os resultados, juntaram-se todas as soluções apontadas para cada um dos meses de um ano, de forma a sintetizar quais as possíveis soluções apontadas para cada um destes. Marcaram-se a verde as soluções que são apontadas para os três casos considerados, a amarelo quando é apontada para dois dos casos e a laranja as que foram apontadas para apenas um dos casos, dando origem à Tabela 3.3 que se segue.

Tabela 3.3 – Síntese das soluções apontadas para o casos 1, 2 e 3

	1	2	3	4	5
Janeiro	■	■			
Fevereiro	■	■			
Março	■	■			
Abril	■	■			
Maio	■				
Junho	■		■		
Julho	■		■		
Agosto					■
Setembro					■
Outubro					■
Novembro	■				
Dezembro	■	■			

Depreenda-se que, para os meses em que se apontam duas soluções, considera-se que ao longo do mês as soluções de conforto no interior do edificado variam entre ambas as soluções apontadas. Dos resultados obtidos conclui-se que ao longo do ano, as soluções apontadas para garantir o conforto térmico passam pela ventilação e a forte inércia térmica das paredes, sendo que, ao longo de cada mês existe sempre a possibilidade de não ser necessária a utilização de uma forte inércia térmica das

paredes para que se garanta o conforto higrotérmico no interior do edificado. São excepção a este tipo de resultados os meses de Agosto, Setembro e Outubro, correspondentes à estação húmida, em que os valores de humidade relativa apresentam os seus máximos, conjugados com temperaturas quentes. As soluções apontadas pelo diagrama bioclimático de Givoni para os três meses passam pela ventilação artificial e desumidificação do ar. Uma vez que a solução de parede tem como objectivo a implementação em Cabo Verde, esta solução dispendiosa não será equacionada na proposta de solução de conforto. Embora não seja possível a resolução do problema da forma indicada pelo diagrama, para estes casos, é também sabido que a adopção de uma solução de parede com forte inércia térmica e garantindo uma boa ventilação, se conseguirá melhorar bastante as condições de conforto no interior do edificado, aproximando-se dos resultados de conforto requeridos. Desta forma conclui-se que, de forma a garantir condições de conforto higrotérmico, será necessária a adopção de uma solução de parede com elevada inércia térmica e garantir uma boa ventilação da habitação.

ii) Acústico

Os critérios de desempenho acústico exigidos, numa determinada situação, devem abranger tanto as exigências regulamentares aplicáveis, como critérios complementares que assegurem as condições de conforto acústico compatíveis com a situação em causa.

De forma a contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar das populações, adopta-se em Portugal a legislação portuguesa relativa às exigências acústicas em edifícios, nomeadamente o decreto-Lei n.º 96/2008, de 11 de Maio – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), que regula a vertente do conforto acústico do regime de edificação. Esta legislação define um conjunto de valores de isolamento sonoro a sons de condução aérea, em função do tipo de edifício e da natureza dos espaços, emissor e receptor (Lopes B. , 2012).

Segundo o RRAE, os edifícios devem respeitar os seguintes requisitos acústicos (Lopes B. , 2012):

- O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, $D_{2m,nT,w}$ entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve satisfazer o seguinte:

$$D_{2m,nT,w} \geq 28\text{dB (em zonas sensíveis}^2\text{);}$$

$$D_{2m,nT,w} \geq 33\text{dB (em zonas mistas}^3\text{).}$$

² Entende-se por zona sensível, a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período nocturno (das 23 às 7 horas) (RGR, 2007).

³ Entende-se por zona mista, a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível (RGR, 2007).

- O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, $D_{nT,w}$ entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$$

- O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, $D_{nT,w}$ entre locais de circulação comum de edifícios, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptor, deverá satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 48 \text{ dB}$$

$D_{nT,w} \geq 40 \text{ dB}$, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;

$$D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}, \text{ se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel};$$

- O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado, $D_{nT,w}$ entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$$

No âmbito da corrente dissertação apenas o primeiro ponto apresenta relevância, uma vez que as paredes pré-fabricadas dizem respeito apenas a paredes exteriores.

iii) Impermeabilidade

A construção com recurso a painéis pré-fabricados passa geralmente pela formação de paredes únicas através da agregação de diversos painéis de parede. Uma vez que os painéis são elementos individualizados, a sua ligação implica a existência de juntas entre elementos, ou seja, uma divisão entre painéis, como se pode verificar na Figura 3.12, denominadas de juntas de ligação (Marques, 2012).



Figura 3.12 – Juntas de ligação horizontais e verticais entre painéis pré-fabricados (Adaptado de Vitruvius, 2016)

As juntas devem ser o mais estanque possível, sem que propaguem as tensões provenientes de possíveis movimentos, tanto dos painéis como da própria estrutura de suporte de elementos adjacentes, de forma que não se introduzam tensões adicionais nos painéis. Devem adoptar-se uma série de critérios de dimensionamento das juntas, atendendo a certos requisitos de desempenho em relação à competência de absorver deformações sem introduzir tensões extra nos elementos e garantir estanquidade à água e ao ar. O modo como se estabelecem esses critérios, está relacionado com a análise do tipo de juntas, a escolha dos materiais selantes e das dimensões mínimas estabelecidas para as mesmas. O dimensionamento das juntas e a análise dos materiais selantes são executados de forma que seja possível estabelecer critérios que cumpram com o desempenho funcional das juntas e estanquidade das fachadas. A localização das juntas tem influência em diversos factores, desde a produtividade e qualidade da mão-de-obra ligada ao preenchimento das juntas com material selante, assim como a capacidade das mesmas de absorverem possíveis movimentações. No caso de as juntas se localizarem nas extremidades, existe uma relativa facilidade de preenchimento, tanto no comprimento como na altura do painel. Caso existam nervuras nos painéis é recomendado que as juntas se localizem perto dos bordos e das nervuras. Devem evitar-se juntas no meio de vãos, assim como em superfícies inclinadas, derivado da dificuldade em criar formas geométricas, ao nível das juntas e do próprio painel, para que a água da chuva seja conduzida para fora da superfície da fachada (Marques, 2012). A Figura 3.13 exemplifica os erros técnicos a não cometer no dimensionamento de juntas de ligação.

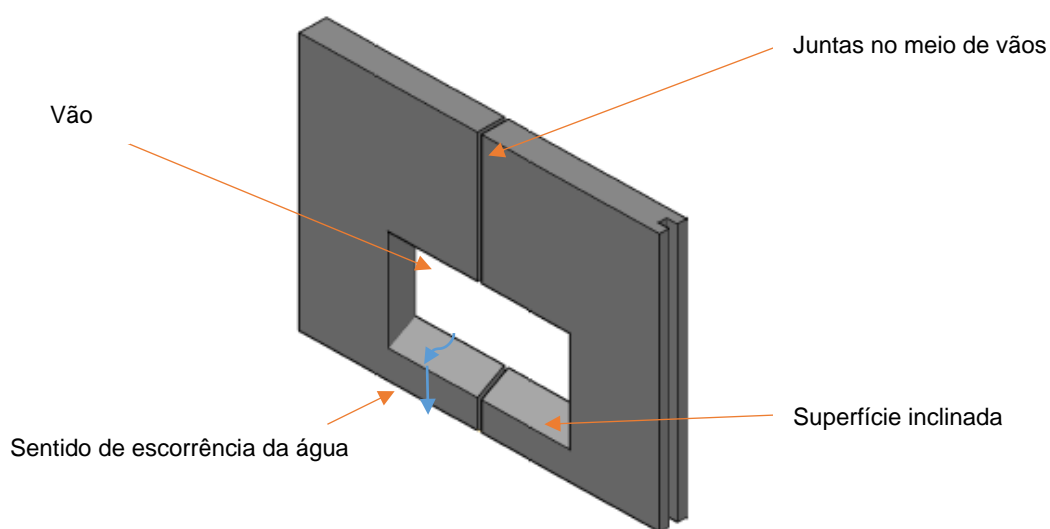


Figura 3.13 – Execução incorrecta de juntas (Adaptado de Marques, 2012)

No que toca ao preenchimento das juntas, estas subdividem-se em juntas abertas, juntas seladas e juntas coladas, explanando-se em seguida cada uma delas (Marques, 2012).

- Juntas abertas: A própria geometria das juntas e/ou a introdução de um dispositivo de drenagem, são suficientes para garantir a estanquidade da mesma à água.

Estas podem também ser classificadas como juntas de drenagem, aquando da utilização de dispositivos de drenagem, isto é, obturadores flexíveis que tomam como função evitar a humidade nos painéis de betão pré-fabricados, assim como, evitar a acumulação de água e a penetração de água ou ar no interior do edifício. As juntas de drenagem podem ser obtidas através da sobreposição de bordos horizontais, em conjunto com a existência de sulcos verticais, onde usualmente se introduzem faixas de borracha sintética, de forma a conferir estanquidade à água. Como esquematizado na Figura 3.14, Figura 3.15 e Figura 3.16, utiliza-se, no encontro entre juntas verticais e horizontais, uma membrana impermeável, de forma a garantir também a estanquidade destas singularidades (Marques, 2012). Este método pode ser considerado ineficiente devido à possibilidade de deslizamento entre painéis de parede.



Figura 3.14 – Corte de junta horizontal – Esquema de junta de drenagem (Adaptado de Marques, 2012)

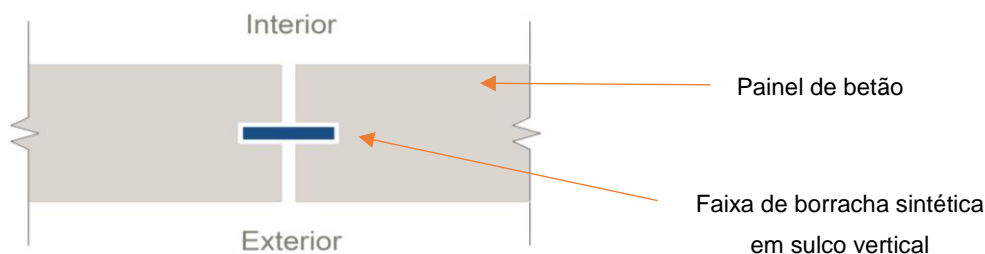


Figura 3.15 – Planta de junta vertical – Esquema de junta de drenagem (Adaptado de Marques, 2012)

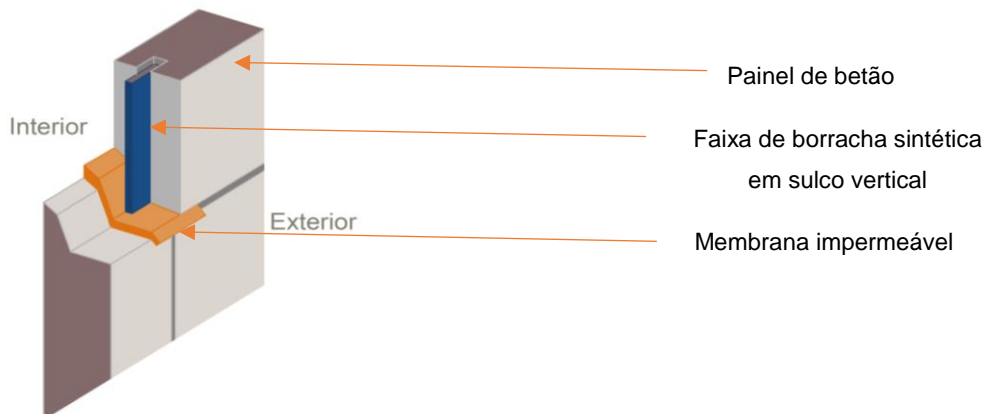


Figura 3.16 – Corte de junta horizontal – Esquema tridimensional de juntas de drenagem (Adaptado de Marques, 2012)

- Juntas seladas: As juntas são preenchidas com selante. Este tem como objectivo a selagem da junta, assim como a dissipação de possíveis tensões que possam surgir entre elementos adjacentes.

A estanquidade é garantida, neste caso, a partir da aplicação de um material selante e da geometria das juntas, sobrepostas ou justapostas. Podem classificar-se em dois tipos:

- Juntas de um estágio: Contêm apenas uma linha de defesa, devido ao formato geométrico simples, isto é, justapostas, sendo que o selante é aplicado em apenas uma das suas bordaduras.

De forma a controlar a espessura do selante, assim como a promover o seu adequado comportamento, é colocado habitualmente, como representado na Figura 3.17, um cordão de neoprene.

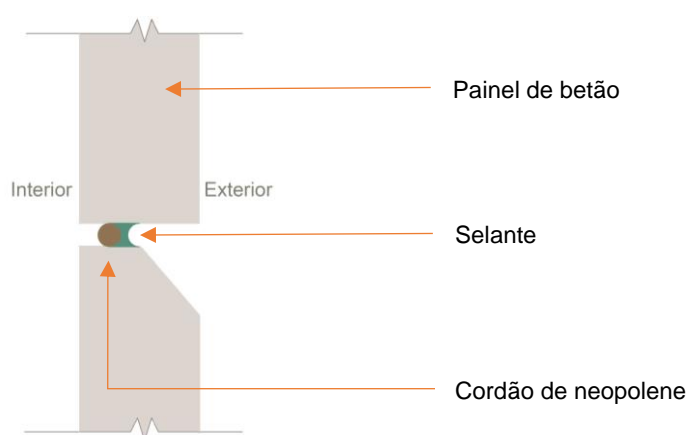


Figura 3.17 – Corte de junta horizontal – pormenor de aplicação de selante e do cordão de neoprene (Adaptado de Marques, 2012)

Há que realçar algumas desvantagens de possível ocorrência neste sistema de juntas, como é o caso da existência de falhas no material selante, que pode permitir a entrada de água por pressão diferencial ou capilaridade para o interior do edifício, uma vez que a geometria da junta não colabora com o desvio da água. Outra possível desvantagem é o facto de o selante estar sujeito a agentes de deterioração atmosféricos, como é exemplo a humidade, raios ultravioleta ou variações de temperatura, entre outros.

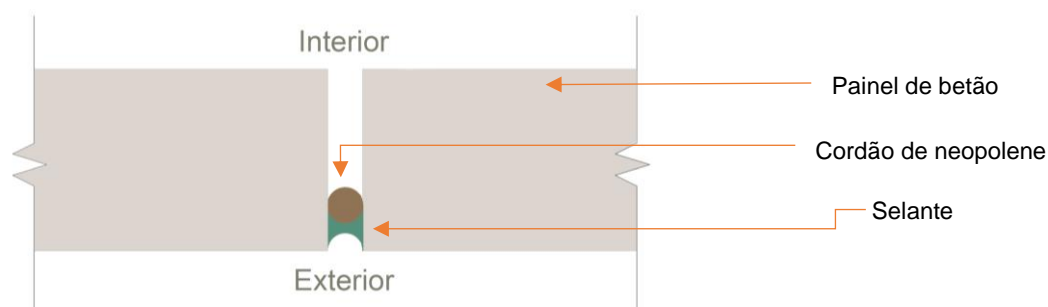


Figura 3.18 – Planta de junta vertical (Adaptado de Marques, 2012)

- Juntas de dois estágios: Estas funcionam de forma a criar uma defesa para a água proveniente da precipitação, por intermédio da geometria da junta, isto é, as juntas estão sobrepostas e encontram-se seladas em uma ou duas bordaduras, apresentando duas linhas de defesa de forma a melhorar a estanquidade à água, proveniente da precipitação, e ao ar, como ilustra a Figura 3.19.



Figura 3.19 – Corte de junta horizontal de dois estágios (Adaptado de Marques, 2012)

Estas juntas apresentam também algumas desvantagens, como por exemplo a necessidade de cuidado na fase de montagem, de forma a evitar quebras, devido ao facto das arestas e vértices dos painéis serem relativamente vulneráveis. Outras desvantagens prendem-se com a dificuldade de aplicação do material selante, principalmente na superfície interior do painel, assim como a manutenção do mesmo.

É importante referir que ambos os tipos de juntas de um e dois estágios apresentam problemáticas no que toca à exposição do material selante À acção do sol e à acção de mecânica, que poderá, ao longo do período de utilização da solução, conduzir a deficiências no que toca à impermeabilização da solução.

- Juntas coladas: As juntas são preenchidas com um material do tipo cola, criando uma união entre elementos adjacentes, embora este sistema não permita a desmontagem de painéis, não permitindo uma reutilização dos mesmos.

Os tipos de juntas são função da sua classificação, ou seja, vertical ou horizontal, sobrepostas ou justapostas, de um ou dois estágios. O desempenho dos painéis é também condicionado pela estanquidade das juntas à água e ao ar, assim como pela maior ou menor facilidade de absorção de deformações. A Tabela 3.4 serve de apoio ao dimensionamento das juntas, quer em largura, quer em profundidade, em função da largura dos painéis (Figura 3.20).

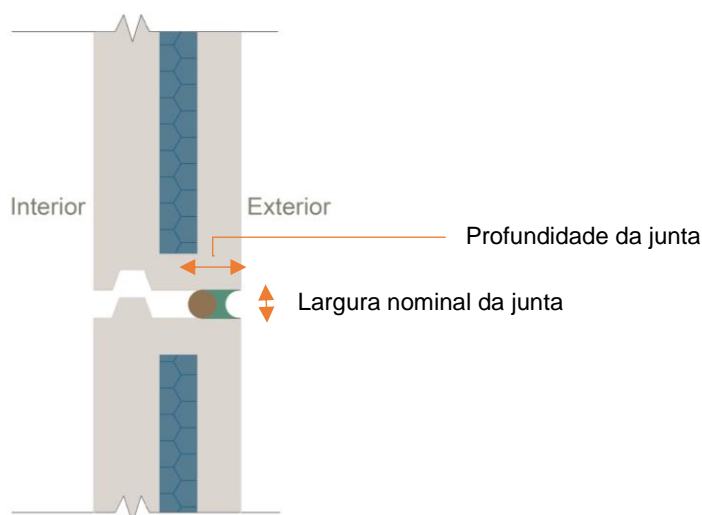


Figura 3.20 – Representação da largura e profundidade da junta (Adaptado de Marques, 2012)

Tabela 3.4 – Dimensionamento das juntas de painéis pré-fabricados (Adaptado de Marques, 2012)

Largura da Unidade (m)	Largura mínima nominal da junta (mm)	Profundidade mínima da junta (mm)
1,80	12	8
2,40	12	8
3,60	14	8
4,80	15	10
6,00	16	10

3.5. Modos de relação dos materiais componentes das paredes modulares pré-fabricadas

De forma a garantir uma correcta conjugação dos materiais constituintes do painel de parede, é fulcral que sejam tidos em conta os modos de relação entre os materiais constituintes do mesmo. Visando um correcto planeamento do painel, estes aspectos foram sintetizados nos pontos que se seguem.

i) Higrotérmico

À semelhança de uma parede construída com recurso aos métodos tradicionais, a ordem de colocação dos materiais constituintes do painel tipo sandwich é extremamente importante, sendo que uma má definição da ordem das camadas constituintes do painel pode conduzir à formação de condensações internas no painel.

A presença de água no interior de materiais porosos condiciona consideravelmente o seu comportamento no que toca à condutibilidade térmica do mesmo, uma vez que a condutibilidade térmica da água é 24 vezes maior que a do ar, promovendo desta forma um aumento da

condutibilidade térmica do material. A presença de água pode também conduzir, no caso da utilização de materiais orgânicos, ao apodrecimento destas mesmas (Henriques, 2007).

Assim sendo, é fulcral garantir que não existirá no interior do painel qualquer fenómeno de condensação interna. De modo a garantir a não ocorrência destes fenómenos, há alguns cuidados fulcrais que têm de ser tidos em conta no momento de dimensionamento do painel pré-fabricado. É importante que os materiais mais impermeáveis ao vapor de água sejam colocados o mais perto possível do ambiente interior da habitação, assim como, no caso de ser prevista uma barreira pára-vapor (Henriques, 2011). No que toca ao isolamento térmico, este deverá ser colocado o mais para o exterior do painel possível.

ii) Acústico

O material de isolamento acústico, como elemento componente do painel pré-fabricado, deverá estar o mais próximo possível da fonte de ruído. Prevê-se que o objectivo principal do uso deste tipo de isolamento seja a minimização do ruído proveniente do ambiente exterior, de forma que este não se propague para o interior da habitação.

O isolamento acústico deverá, à semelhança com a já referida localização preferencial do isolamento térmico, ser colocado no interior do painel pré-fabricado, o mais próximo possível do ambiente exterior, ou seja, o mais próximo possível da parede exterior do painel pré-fabricado.

iii) Impermeabilidade

Embora não se possam considerar materiais constituintes da solução de parede, os materiais usados para garantir a impermeabilidade da solução modular deverão cumprir alguns requisitos em relação aos materiais constituintes dos painéis.

Como já referido anteriormente, a impermeabilidade da solução modular é dependente, não só dos materiais constituintes da fachada, como também dos materiais selantes das discontinuidades entre os painéis, nomeadamente as juntas de ligação. Como tal, é essencial que os materiais selantes cumpram uma série de requisitos funcionais em relação aos painéis pré-fabricados onde serão aplicados.

A aplicação dos materiais selantes nas juntas de ligação entre painéis será sempre efectuada em contacto com betão, uma vez que será este o material constituinte das áreas do painel em contacto com os ambientes envolventes aos painéis pré-fabricados. Como tal, as exigências impostas aos materiais selantes, no que toca à relação com os restantes materiais constituintes dos painéis pré-fabricados, serão de facto apenas relativas ao betão.

De seguida, serão apresentadas as exigências impostas a cada um dos referidos materiais identificados como necessários à tarefa de impermeabilização dos painéis.

-
- Membrana impermeável – A membrana impermeável deverá ser colada ao bordo do painel de forma a garantir a não ocorrência de movimentos entre painéis por deslizamento da mesma. A colagem deverá garantir uma boa aderência entre a membrana e o painel, de forma que esta não se desposicione no momento de aplicação.
 - Faixa de borracha sintética – A faixa de borracha sintética não apresenta qualquer tipo de exigência especial em relação ao material constituinte do painel pré-fabricado onde é aplicado.
 - Cordão de neoplene ou neoprene – O cordão de neoplene não apresenta qualquer tipo de exigência especial de relação ao material constituinte do painel pré-fabricado onde é aplicado. O material tem de ser compressível, cobrindo tolerâncias das juntas.
 - Selante – O material selante deverá garantir uma boa aderência ao betão. Uma boa aderência ao betão diminuirá a possibilidade de falhas na selagem, garantindo uma estanquidade total à água e ao ar. O selante deverá ser flexível de forma a permitir pequenos possíveis movimentos entre os painéis, caso contrário, o selante poderia fracturar e abrir uma via de entrada de água para o interior das juntas entre painéis. Este deve apresentar tolerâncias que permitam cobrir possíveis acções mecânicas nos painéis.

3.6. Materiais disponíveis no mercado-alvo de passível aplicação em construção

Cabo Verde é um país bastante rico em recursos materiais naturais com capacidades de aplicação na construção, embora estes sejam frequentemente negligenciados pelo sector da construção no país.

A procura de recursos de origem cabo-verdiana e, se possível, de origem natural, assim como a criação de condições para produção dos painéis no país permite uma grande redução do seu custo de execução.

Com foco neste enquadramento efectuou-se uma aferição de vários materiais, com potencial de utilização na construção, disponíveis no país, assim como das suas características, de forma a permitir uma avaliação do seu potencial no que toca à sua utilização na execução do painel de parede.

- **Materiais naturais**

Segundo Neves (2014), existe em Cabo Verde uma vasta variedade de materiais naturais, podendo encontrar-se pedra, brita, jorra, terra, argila, pozolanas, palha e sisal.

No âmbito desta dissertação, destacar-se-ão os materiais de passível aplicação na produção de painéis pré-fabricados, a utilizar não só como elementos de parede mas também como elementos de cobertura. Estes materiais poderão ser utilizados na construção da parede, tanto no que toca à parte estrutural como à parte de isolamento térmico.

- A pedra é um elemento bastante abundante, sendo o mais abundante no território de Cabo verde, podendo variar entre basaltos, calcários, conglomerados e sienitos.

Embora seja um material que pressupõe um elevado valor de energia incorporada e impactes sobre o ambiente, devido aos métodos possíveis de extracção, que podem variar entre alavancagem, recurso a cunhas ou explosivos. A pedra oferece imensas vantagens a nível de conforto térmico e consequente possível redução de custos energéticos durante a fase de utilização. É também um elemento chave para a necessidade de fabricação de cimento na ilha, uma vez que esta indústria é completamente dependente da existência deste material.

- A areia é também um material comum no território, existindo tanto areias basálticas como calcárias. As areias mais aconselháveis para o sector da construção são provenientes das ribeiras, de minas e de origem vulcânica, embora as duas primeiras sejam bastante escassas, sendo que, uma vez que se trata das mais recomendáveis para o sector da construção, se recomenda ao invés disso, o uso de areia mecânica, obtida por processos de trituração de pedra.
- A brita mais comum no território de Cabo Verde é de origem basáltica e apresenta dimensões médias variando dos 15 aos 30mm, sendo também um material essencial à fabricação de betão.
- A jorra vulcânica é utilizada usualmente em betões leves, de reduzidas necessidades mecânicas, por exemplo, para execução de blocos de paredes. Trata-se de uma lava granulada frequentemente utilizada para a construção em Cabo Verde. Devido à sua porosidade e às partículas apresentarem dimensão considerável, a jorra vulcânica poderá ser explorada como possível isolamento térmico e acústico, à semelhança da argila expandida. Poderá também ser usada para produção de lã de rocha.
- A argila é comumente denominada de barro. Este recurso não existe em todas as ilhas, pelo menos em predominância. As argilas são frequentemente utilizadas depois de submetidas a processos de expansão, dando origem à chamada argila expandida. A argila expandida pode ser usada como isolamento térmico, assim como na fabricação de betões leves. Um dos problemas associado à produção de argila expandida, assim como na fabricação de materiais cerâmicos, pode passar pela falta de combustível necessário ao processo. A argila é também um material passível de ser aplicado à produção de cimento.
- As pozolanas são provenientes da ilha de Santo Antão e, apesar da sua abundância, Cabo Verde continua a importar cimentos de má qualidade a preços elevados. Quando esta é finamente moída e misturada com cal ou cimento Portland, dá origem a um cimento com excepcionais propriedades hidráulicas, conferindo às paredes um desempenho térmico mais elevado que as paredes simples constituídas por blocos de cimento, possibilitando temperaturas interiores da habitação mais amenas. Esta pode também ser utilizada como isolamento acústico de elevada eficiência. Para além disto, a utilização de pozolanas permite a utilização de água do mar no fabrico de argamassas, uma vez que a sua reacção com o sal é positiva, conferindo uma maior resistência ao material, poupando desta forma a utilização de água doce, a qual escasseia em algumas alturas do ano em diversas partes do território cabo-verdiano.

-
- A palha é ainda hoje utilizada em várias partes das ilhas nas coberturas das casas. Tratando-se dum material tradicional, quando bem tratado, trata-se de um excelente material de isolamento térmico, embora actualmente a sua utilização já não seja muito comum na habitação principal.
 - O sisal é uma planta fibrosa proveniente das regiões mais húmidas do país, utilizado na produção de telhas, placas de revestimento e abobadilhas. Os elementos produzidos com este material, além de mais económicos, e de fácil fabrico, são uma boa alternativa relativamente aos elementos de fibrocimento importados. Alguns estudos já foram realizados de forma a estudar a capacidade do uso de sisal como isolamento térmico.

- **Materiais compostos**

Segundo Neves (2014), existem vários materiais compostos disponíveis em Cabo Verde, tais como tijolo ou ladrilhos, terra-cimento, cal, gesso e cimento, sendo que volta a dar-se importância àqueles que serão possíveis de aplicar no âmbito solução proposta pela presente dissertação.

- O solo-cimento pode ser aplicado em paredes e em lajes, sendo que não apresenta quaisquer desvantagens em relação ao cimento. Este material apresenta grandes vantagens económicas e construtivas.
- A cal é utilizada para produção de argamassas de assentamento, tendo em tempos sido produzida na ilha da Boavista. A pedra de cal encontra-se espalhada pelo território de Cabo Verde.
- O gesso é obtido através de um processo de desidratação de sulfato de cal hidratado, usualmente encontrado sob forma de pedra ou areia, sendo esta última natural da ilha de Maio. Este material é usado sobretudo para acabamento de paredes e tectos.
- O cimento é um ligante mineral em pó, à base de calcário e argila, sendo que é obtido através de calcinação destes mesmos. É também comum incorporar à mistura pozolanas ou aditivos pozolânicos de modo a melhorar as características do mesmo, sendo que a sua composição varia consoante a utilização a que se destina.

- **Resíduos urbanos e agro-industriais**

A possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo a partir de subprodutos industriais, que são actualmente reciclados ou reutilizados com base nas suas potencialidades, assim como a possibilidade de tornar o processo e o produto final mais sustentáveis e contribuir para um desenvolvimento da gestão de resíduos urbanos e agro-industriais do país, ainda numa fase embrionária, no que se refere a este sector, são os dois factores a que se deve a importância do aproveitamento de resíduos numa perspectiva voltada para a habitação de interesse social.

Existem vários resíduos que podem ser utilizados no sector da construção civil, sobretudo os que resultam da transformação agro-industrial, como são exemplo os resíduos de cana e cereais, assim como os que resultam da reciclagem de resíduos urbanos, como o vidro e o cartão.

De modo a compreender o tipo de resíduos agro-industriais que podem estar disponíveis e com potencial para uma possível reutilização na fabricação de materiais de construção, possíveis de aplicar na parede em estudo, é importante conhecer as culturas agrícolas mais importantes. Os produtos mais produzidos em Cabo Verde são o café, a cana-de-açúcar, a banana, os frutos tropicais, o milho, os feijões, a batata-doce e a mandioca, sendo que entre estes, os que demonstram potencial na utilização para a construção civil são a casca de banana, o bagaço de cana-de-açúcar, o resíduo de milho, a fibra de coco e a fibra de tamareira.

Estes resíduos são passíveis de ser utilizados tanto como materiais integrantes do isolamento da parede, como constituintes dos materiais utilizados para concepção estrutural da parede.

- O vidro, representando cerca de 20% do total de resíduos urbanos recolhidos em Cabo Verde, tem um potencial enorme de utilização no sector da construção civil. Um dos grandes problemas de gestão deste resíduo reside nas garrafas não retornáveis, sendo que, existe no país cerca de 10 000 ton/ano deste tipo de resíduo, sendo que se trata de 85% das 11 400 ton/ano do resíduo total, segundo dados de 2004.

Actualmente já é reciclada parte deste tipo de resíduo para utilização na construção civil. As garrafas são trituradas, e posteriormente, consoante a sua granulometria final, podem ser utilizadas como substituto da areia ou como substituto de parte do ligante, uma vez que a sua composição é favorável ao desenvolvimento da reacção pozolânica, em argamassas, betões, blocos, entre outros (Neves, 2014).

- O bagaço de cana-de-açúcar é muito abundante no país. É constituído por celulose, hemicelulose e lignina. Actualmente, o bagaço obtido na usina é consumido na indústria para produção de energia por co-geração. Contudo, este resíduo possui características que tornam passível a sua aplicação no sector da construção civil. As cinzas provenientes da combustão do bagaço podem ser utilizadas como substitutas parciais do cimento Portland em argamassas, ou como substituta dos agregados naturais, como areia e brita. As suas fibras podem também ser utilizadas como reforço mecânico de elementos, assim como isolamento térmico e acústico (Neves, 2014).
- O resíduo de milho pode também ser reutilizado, uma vez que as suas características fibrosas, podem ser utilizadas para reforçar argamassas, betões, blocos, palas, entre outros. As cinzas deste resíduo podem ser usadas como substitutas parciais do cimento Portland. O resíduo da espiga do milho pode também ser utilizado como isolamento térmico e como isolamento acústico (Governo da República de Cabo Verde, 2012).
- A fibra de tamareira, proveniente da espécie palmeira da qual provém o fruto, é bastante abundante em algumas das ilhas do arquipélago. Estas fibras podem ser tratadas de forma a ser utilizadas como isolante térmico. Outro tipo de palmeira extremamente abundante no território é o coqueiro, cujo resíduo proveniente do seu fruto, nomeadamente a fibra de coco, uma vez tratado, poderá também ser utilizado como isolante térmico (Agência Cabo-Verdiana de Notícias, 2016; Áreas Protegidas Cabo verde, 2016).
- A fibra de banana, como o nome indica, é extraída da banana e pode, segundo vários estudos desenvolvidos, ser usada como isolamento térmico. A produção de banana trata-se de uma

cultura que tem vindo a ser retomada no arquipélago, sendo que em 2011 se deu início a um projecto co-financiado pela União Europeia e pelo Governo de Cabo Verde, de relançamento da cultura da banana em Cabo Verde. Este projecto tem vindo a dar cada vez mais frutos ao longo dos anos, tornando interessante a possibilidade de exploração do resíduo deste produto (GRCV, 2012).

3.7. Disponibilidade do recurso

De forma que seja mais perceptível a disponibilidade de cada um dos recursos, anteriormente identificados, no arquipélago de Cabo Verde, foi elaborado o quadro síntese que se segue, fazendo corresponder a cada um dos recursos o seu nível de disponibilidade no território (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Disponibilidade de recursos no arquipélago de Cabo Verde para utilização em Construção

Origem do Recurso	Recurso	Disponibilidade do recurso		
		Pouco disponível	Disponível	Muito disponível
Materiais naturais	Pedra			
	Areia ⁴			
	Jorra vulcânica			
	Argila			
	Pozolanas			
	Palha			
	Sisal			
Materiais compostos	Terra-cimento			
	Cal			
	Gesso			
	Cimento			
Resíduos urbanos e agro-industriais	Vidro			
	Fibras de banana			
	Bagaço de cana-de-açúcar			
	Resíduo de milho			
	Fibras de tamareira			
	Fibras de coco			

Há que ter em conta que a abundância de alguns dos materiais listados pode sofrer alterações, nomeadamente no que toca a materiais susceptíveis a aumento ou diminuição de produção agrícola, como a cana-de-açúcar, a banana, o milho e a palha.

É importante seleccionar os materiais a utilizar com base na sua disponibilidade a nível territorial, uma vez que, para efeitos de produção, é essencial que não hajam falhas no fornecimento dos

⁴ Tem-se em conta que as areias são referentes a areias com boa qualidade para utilização no ramo da construção.

recursos escolhidos, de forma que seja sempre possível utilizar os produtos endêmicos, reduzindo custos a nível de possíveis importações dos mesmos.

Composição do modelo de habitação modular evolutiva

4.1. Método construtivo

O sistema de construção, adoptado para a resolução do problema imposto pelo tema da corrente dissertação é o sistema de construção pré-fabricada modular.

Como anteriormente foi referido, este método prevê uma produção de elementos de parede em ambiente controlado (em fábrica), podendo posteriormente ser montados, ligados e transportados para o local de implantação como elemento modular completo, ou transportado para o local de implantação onde os módulos são montados e ligados entre si, de forma a dar origem ao módulo habitacional. Embora esta solução implique um transporte cuidado, assim como uma montagem com recurso a maquinaria pesada e de precisão milimétrica, concluiu-se que a necessidade de precisão necessária ao método construtivo imperava sobre estes factores.

Por sua vez, o tipo de painel seleccionado para resolução das paredes do módulo habitacional, assim como da cobertura, é o painel de parede tipo sandwich. Este é constituído por um conjunto de camadas de diferentes materiais, interligadas entre si, de forma que as propriedades dos diferentes materiais, conjugadas entre si, permitam alcançar o desempenho exigido ao painel de parede.

Os painéis deverão ser montados em fábrica, de modo a constituir vários semi-módulos, que terão como destino o local de implantação, onde serão instalados e ligados entre si, dando origem ao módulo habitacional, que se desenvolve linearmente ao seu comprimento, consoante as necessidades, como demonstrado na Figura 4.1.

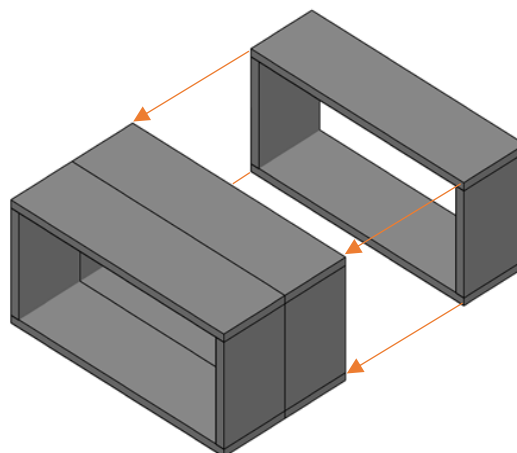


Figura 4.1 – Esquema representativo dos sub-módulos pré-fabricados

A justificação desta escolha passa pelo facto de existir um elevado grau de exigência inerente ao processo de agregação dos componentes e respectivo isolamento dos mesmos e por esta solução reduzir bastante o risco de dano nas paredes pré-fabricadas.

4.2. Composição do módulo habitacional

Este ponto tem como objectivo a abordagem dos pontos necessários à concepção do módulo habitacional, estabelecendo os factores a ter em conta, assim como os requisitos dimensionais mínimos para a composição do mesmo.

4.2.1. Requisitos dimensionais do módulo habitacional

Tipicamente, como se pode perceber pela Figura 4.2, a habitação informal em Cabo Verde corresponde a uma habitação de piso térreo de planta rectangular, com constante presença de elementos que denotam uma construção faseada da mesma, consoante a disponibilidade económica, prevendo frequentemente uma ampliação do edificado.



Figura 4.2 – Tipologia típica da habitação de tipo informal em Cabo verde

O primeiro passo para que seja possível dimensionar convenientemente as dimensões dos painéis de parede passa pela definição das dimensões mínimas que a parede necessita de ter, de forma a cumprir as exigências impostas pelas normas que vigoram no país em questão.

Tomando por consideração uma análise do Regulamento Geral de Edificações Urbanas (RGEU) de Cabo Verde, foram determinados os valores óptimos de áreas exigidos às diferentes divisões constituintes da habitação, de forma a obter as soluções mais optimizadas no que toca ao dimensionamento. Este estudo deu origem aos resultados apresentados na Tabela 4.1 (Lopes & Amado, 2012):

Tabela 4.1 – Dimensões mínimas exigidas pelo RGEU (Adaptado de Lopes & Amado, 2012)

Pé direito	L (Vãos)	A _{min} (Quarto)	A _{min} (Sala)	A _{min} (Cozinha)	A _{min} (I.S.)	A _{min} (Vãos)	A _{min} (T2)
2,8m	0,90m	10,50m ²	14,00m ²	6,50m ²	4,50m ²	1,00m ²	52m ²

Foram também consideradas as dimensões mínimas impostas ao financiamento por parte do Projecto Casa para Todos⁵, apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Área bruta de construção, máxima e mínima, consoante as diferentes tipologias de unidade habitacional (Adaptado de Lopes & Amado, 2012)

Tipologia	T1		T2		T3	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Área bruta de construção (máxima e mínima)						
Limites em m ² da área bruta de construção	40	60	52	75	64	90

Além das presentes condições dimensionais, as novas habitações deverão ser constituídas, no mínimo, pelas seguintes divisões:

- Espaços sociais: Sala de estar, varandas/terraços/alpendres ou similares;
- Espaços íntimos: Quarto de dormir e casa de banho (com chuveiro, sanita e lavabos com torneiras);
- Espaços de serviço: Cozinha.

Segundo Lopes & Amado (2012), os parâmetros mais específicos e técnicos de habitabilidade, definidos como mínimos a cumprir, de acordo com o Regulamento Geral da Construção e Habitabilidade Urbana, publicado em Boletim Oficial a 28 de Fevereiro de 2011, no âmbito da construção de habitação, são os seguintes:

- Os compartimentos (exceptuando zonas de arrumos e instalações sanitárias) não poderão ter uma área inferior a 10,5m² (exceptuando quando as habitações têm mais de 4 ou mais de 6 compartimentos, sendo que nesse caso poderá haver, respectivamente, 1 ou 2 compartimentos com área reduzida de 7m²);
- O compartimento destinado exclusivamente à cozinha deverá ter a área mínima de 6,5m²;
- O comprimento dos compartimentos das habitações não deverá exceder o dobro da largura e na respectiva planta deve conseguir-se inscrever, entre parede, um círculo de diâmetro de 1,5m;
- A largura dos corredores da habitação não poderá ser menor que 0,9m;
- Admite-se a existência de uma única instalação sanitária completa nas habitações com menos de 4 compartimentos;
- Nos espaços destinados a habitação, o pé direito mínimo é de 2,6m, dimensão que pode baixar até 2,4m nos vestíbulos, corredores, instalações sanitárias e arrumos;
- No caso de tectos com vigas aparentes, inclinados, abobadados, falsos ou contendo superfícies salientes, o pé direito mínimo definido deve ser mantido, pelo menos, em 80% da superfície, admitindo-se que, na superfície restante, o pé direito possa descer até 2,3m.

⁵ “O Governo de Cabo Verde elegeu o ano de 2009 como o “Ano da habitação” prevendo uma série de medidas e estratégias para promover a habitação social em todo o país, buscando criar as condições para o cumprimento gradual de uma das determinações constitucionais (direito a habitação condigna), muito reivindicada pelas populações.” (Citado de IFH, 2016)

Tendo isto, será fulcral dimensionar os painéis de forma que, quando anexados, permitam cumprir as dimensões anteriormente previstas. Para além disso, é fulcral que neste tipo de solução seja tida em conta a necessidade de transporte dos elementos pré-fabricados, da fábrica até ao local de implantação por meio terrestre, sendo que, no caso de Cabo Verde o transporte terá de ser executado por meio rodoviário. Assim sendo, será necessário averiguar as dimensões máximas possíveis de transportar nos veículos de transporte, de modo que se consiga proceder a um dimensionamento lógico dos painéis, garantindo um transporte correcto, seguro e o menos dispendioso possível. Como tal, elaborou-se uma análise de alguns meios de transporte rodoviários existentes, que se sintetizam de seguida na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Tipos de transporte rodoviário para os módulos pré-fabricados

Tipo de Camião	Tracção	Comprimento da caixa (m)
Semi-reboque estrado	6x4	15,50 - [ext] 44,00
	8x4	15,50 - [ext] 36,00
	4x2	15,50 - [ext] 21,50
Porta máquinas	8x4	18,5 - [ext] 22,00
	6x4	18,5 - [ext] 22,00
		13,25 - [ext] 16,25
		13,25 - [ext] 16,25
	6x2	13,50 - [ext] 19,50
	4x2	13,50 - [ext] 19,50

Da avaliação da Tabela 4.3 depreende-se que a problemática de transporte e dimensionamento estará associada principalmente com a largura dos camiões de transporte. Uma vez que não é possível a consulta de regulamentação de Cabo Verde, a partir da consulta do Decreto-lei n.º 133/2014, publicado em Diário da República, 1ª série – N.º 171 de 5 de Setembro de 2014, que estabelece como largura máxima para veículos 2,55m, considera-se esta medida para dimensionamento dos painéis do módulo habitacional.

4.2.2. Geometria adoptada

Analisando as condicionantes de transporte, deve dar-se especial atenção no que toca à garantia da não necessidade de autorização especial para o transporte das componentes modulares. Uma das dimensões dos painéis não deverá exceder os 2,55m de largura, sendo que, existem várias soluções para a segunda dimensão dos sub-módulos a transportar.

Prevê-se uma dimensão 2x2,8m para os painéis pré-fabricados, de forma que os 2m de largura não excedem os 2,55m máximos impostos pelo transporte dos componentes e os 2,8m cumprem os requisitos de pé direito impostos pelo RGEU. A largura prevista permite o desenvolvimento de um semi-módulo com 6m de comprimento, sendo a sua fachada composta por três painéis pré-fabricados. Estas dimensões serão futuramente avaliadas e utilizadas para a definição dimensional final.

Prevê-se uma área de 12 m² para cada semi-módulo, sendo que um T2 poderá ser composto pela agregação de 5 semi-módulos, perfazendo uma área total útil de 60 m² (Figura 4.3), de forma a garantir a área mínima de 52 m² exigida pelo RGEU, com uma folga de 8 m² para possíveis áreas de circulação, ou possíveis acertos das áreas das divisões exigidas. A Divisão interior será garantida por paredes leves, as quais não serão abordadas no âmbito desta dissertação.

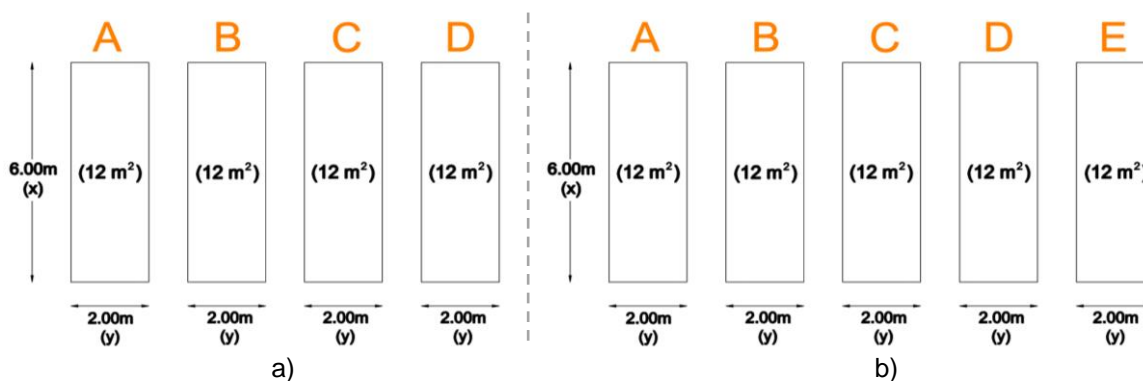


Figura 4.3 – Agregação necessária à composição de uma habitação de tipologia T1 (a) e T2 (b))

Este modelo base, agregando os sub-módulos A, B e C e D, garante condições a uma habitação T1, sendo que esta poderá evoluir com a adição de novos sub-módulos, aumentando desta forma a tipologia da habitação, como exemplificado pela tipologia T1, a qual apresenta a adição de um sub-módulo (E) à tipologia T1 tomada como base.

Os sub-módulos desenvolvidos permitem uma evolução longitudinal do módulo habitacional, consoante as necessidades de acréscimo ou decréscimo do número de divisões da habitação ao longo do tempo. Este poderá crescer ou decrescer consoante as necessidades, sendo possível adicionar ou retirar sub-módulos ao módulo habitacional base pré-existente, garantindo uma adaptação correcta do módulo habitacional inicial às necessidades do agregado familiar que o habitará no futuro. A Figura 4.4 mostra exemplos da possível evolução da habitação, demonstrando vários tipos de agregação possíveis para os sub-módulos.

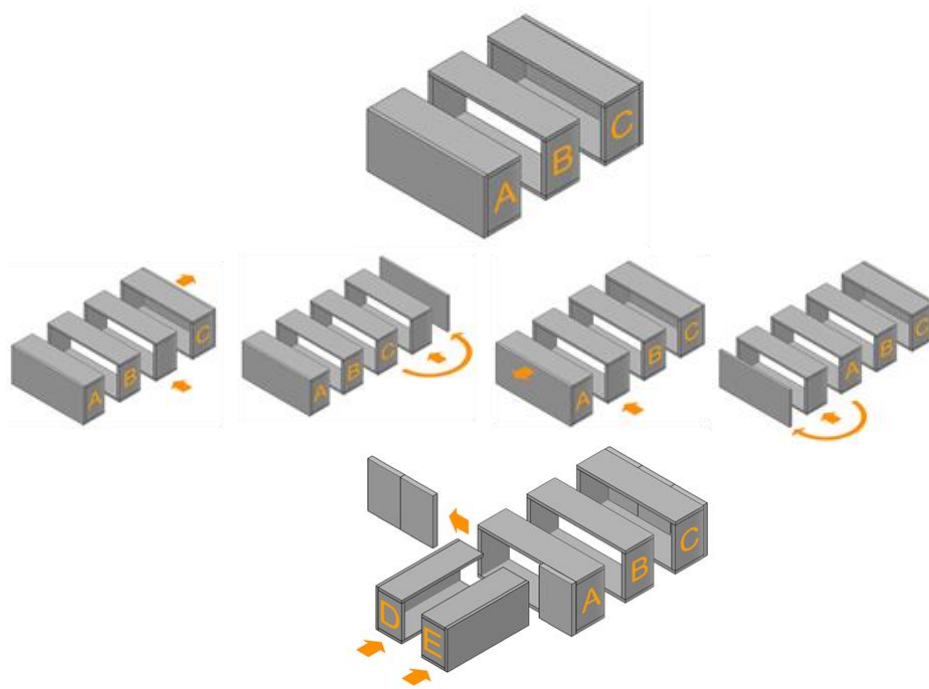


Figura 4.4 – Possível evolução da tipologia da habitação

Os esquemas apresentados não apresentam a localização dos vãos, sendo que a sua localização e dimensão serão abordados adiante neste mesmo capítulo.

4.2.3. Orientação do módulo habitacional

A orientação do módulo habitacional deverá ser escolhida de acordo com os ventos predominantes e a insolação local.

Segundo o PDMP, os ventos predominantes são os ventos alíseos do Nordeste de Outubro a Junho, sendo que nos restantes meses de Julho, Agosto e Setembro os ventos predominantes são provenientes de Sul (Figura 4.5).

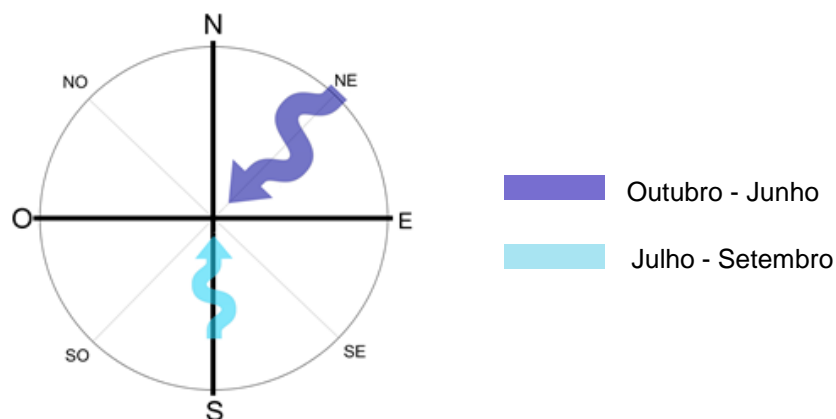


Figura 4.5 – Direcção dos ventos predominantes durante os vários meses do ano

Os ventos sopram com maior intensidade na parte sul da ilha. A velocidade do vento é geralmente moderada, atingindo em média uma velocidade de 3m/s na área em estudo. Os meses menos ventosos são os de Julho a Outubro, enquanto que nos restantes meses a velocidade do vento é aproximadamente constante. Segundo dados estatísticos, tem-se registado uma diminuição da velocidade do vento ao longo dos anos.

Tendo em conta o clima característico de Cabo Verde e que, segundo a avaliação de conforto higrotérmico efectuada, que aponta para a necessidade de recorrer, na maioria dos meses do ano, à ventilação para garantir as condições de conforto da habitação, é necessário orientar o edifício de forma que a direcção do vento gere boas condições de arrefecimento.

Como tal, prevê-se que a maior largura da habitação seja exposta a Nordeste, visto que, de Outubro a Junho receberá ventos provenientes desta direcção e, nos restantes meses, a fachada contrária receberá os ventos provenientes de Sul. De forma a não expor a fachada directamente ao vento, evitando a geração de grandes pressões nas fachadas, derivadas da intensidade do vento, poder-se-á efectuar uma rotação desta mesma 20° para Este, continuando desta forma a garantir-se a recepção dos ventos para arrefecimento e evitando as referidas pressões (Figura 4.6).

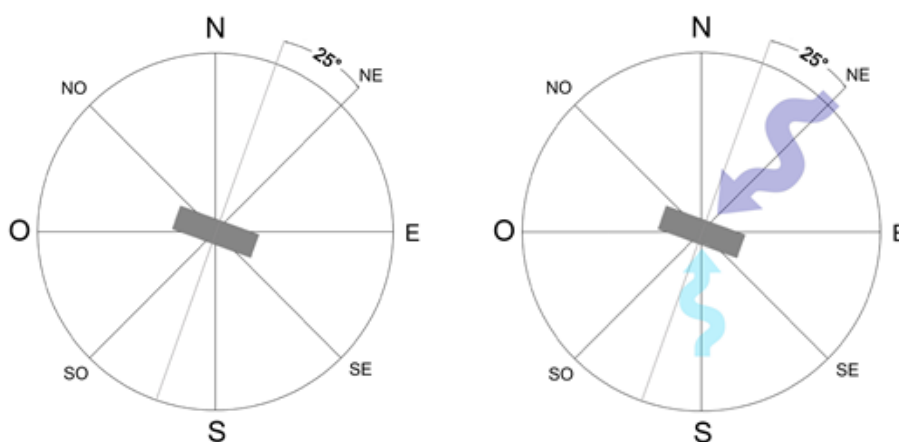


Figura 4.6 - Orientação prevista para o módulo habitacional

4.2.4. Vãos

Tipicamente, como se pode perceber pela Figura 4.2, a habitação informal em Cabo Verde corresponde a uma habitação de piso térreo de planta rectangular, com uma fachada principal usualmente demarcada pela presença de uma porta e uma ou duas janelas.

Um dos factores importantes para que uma nova tipologia de habitação seja aceite pela população em geral, será garantir que esta não foge aos parâmetros da habitação que a população considera como típica. Como tal, será importante garantir que o novo módulo habitacional apresenta tais traços arquitectónicos.

i) Ventilação

A ventilação pode ser descrita pelo movimento do ar dentro de um edifício e entre o exterior do edifício (Martins, 2015).

Os sistemas de ventilação são componentes ou conjuntos de componentes de um edifício cuja finalidade é favorecer a passagem de ar pelo seu interior, de forma a melhorar as condições de temperatura e humidade dos espaços interiores. A ventilação tem como objectivo tanto a renovação do ar interior como o arrefecimento dos ocupantes.

De modo geral, a ventilação é garantida devido às pressões geradas pelas diferenças de temperatura entre o ar interior e o ar exterior da habitação ou devido à influência do vento. Num clima quente, como o de Cabo Verde, não é usual uma diferença significativa da temperatura do ar, entre o interior e o exterior do edifício, sendo então fulcral que a ventilação seja garantida pelo vento, gerando a necessidade de colocar vãos praticados nas fachadas orientadas aos ventos dominantes em contacto com o exterior.

Citando Martins (2015) a principal estratégia, passa pelo aproveitamento máximo dos benefícios da ventilação, uma vez que poderá contribuir para um aumento da comodidade dos ocupantes, das seguintes formas:

- Acção contra a humidade – o ar exterior, ainda que seja húmido, em valores absolutos será sempre menos do que o ar interior estanque. Nesse caso, é necessário favorecer a ventilação contínua, quer de dia quer de noite, ainda que não seja necessário um volume de ar muito elevado (2 a 3 m³/h serão suficientes para conseguir boas condições);
- Acção sobre a sensação térmica – a acção directa sobre o corpo humano, da corrente de ar em movimento, pode melhorar (consoante a velocidade do ar) a sensação térmica em alguns graus. O perigo desta acção é o de introduzir ar exterior mais quente do que o do interior. Com esta estratégia, a ventilação contínua deve ser de fluxo alto e supõe, para ser efectiva, uma troca de ar entre o interior e o exterior de 30 m³/h;
- Ventilação nocturna – trata-se da renovação do ar interior com o exterior a baixas temperaturas (e menor humidade possível). Isto pode conseguir-se através de ventilação nocturna ou ventilação com introdução de ar proveniente de zonas específicas, nas quais o ar é mais fresco, como por exemplo pátios. Neste caso não é necessário que a renovação do ar seja muito alta.

Será necessário compreender que a corrente de ar interior não terá tendência a se repartir entre caminhos distintos, seguindo da abertura de entrada e percorrendo o caminho mais fácil, ou seja, aquele em que exista uma maior diferença de pressões e uma menor resistência à sua passagem até à saída (Martins, 2015).

No âmbito desta dissertação será dado ênfase a um sistema que toma como objectivo forçar a passagem do ar pelo interior da habitação, através da geração de depressões e sobrepressões, sendo ele o mais fácil de adaptar à conjuntura económica do país, por se tratar de um sistema

simples, sem necessidade de acréscimos ao custo de construção. Trata-se de um método de ventilação natural, tal como representado na Figura 4.7, designado por ventilação cruzada.

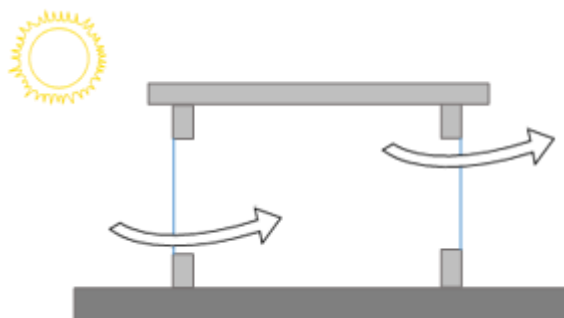


Figura 4.7 – Sistema de ventilação natural - ventilação cruzada (Martins, 2015)

O sistema de ventilação cruzada trata-se do sistema de ventilação natural mais comum e fácil de executar. Para que este sistema funcione, é necessária a existência de aberturas nas fachadas dos compartimentos que comuniquem com espaços exteriores, em condições de radiação ou exposição ao vento distintas. As aberturas de saída de ar devem ser colocadas em zonas altas das divisões, enquanto que as aberturas de admissão de ar deverão ser colocadas nos paramentos verticais das fachadas opostas, de forma a permitir, na presença de vento, a ventilação transversal. No caso de vento fraco, este sistema pode gerar 8 a 20 renovações de ar por hora.

Uma vez que se tenciona favorecer a ventilação natural, a recomendação será sobredimensionar a superfície das saídas de ar em relação às de entrada, uma vez que a acção das depressões costuma ser menor do que a das sobrepressões e como tal, o ar de saída circularia muito mais lentamente do que o da entrada, para um mesmo caudal total.

Devido à compartimentação da habitação não permitir a livre circulação de ar no interior do mesmo, em todas as divisões deverão ser garantidas aberturas nas paredes interiores, de forma a garantir a ocorrência da referida circulação de ar.

Para que o módulo seja correctamente projectado a nível de ventilação natural, deverá apresentar uma distância de fachada a fachada inferior a 5 vezes o tamanho do pé direito da divisão. Uma vez que a ventilação seja executada de um só lado, a ventilação natural só será eficaz até a uma profundidade da divisão menor ou igual a cerca do dobro do pé direito da mesma (Martins, 2015).

Com base nos conceitos enunciados, definiram-se então as fachadas que receberão os vãos envidraçados, de forma que seja possível gerar os efeitos de ventilação desejados. Os vãos deverão constar nas fachadas viradas a Nordeste e a Sudoeste, de onde são provenientes os ventos predominantes ao longo do ano.

De forma a simplificar a solução, optou-se pela utilização de janelas de alumínio, de dimensões correntes de 120x120 cm, de forma a cumprir o mínimo de 1m² exigido pelo RGEU, assim como o mínimo de 90 cm de largura. Optou-se pelo aumento da área dos vãos, de forma a facilitar a ventilação fulcral do módulo habitacional. Optou-se também por uma solução de porta com postigo

de 70x70 cm, numa porta de 90x210 cm para o caso da necessidade deste promover trocas de ar pelo referido vão.

Contrariamente às indicações, será necessário, devido ao facto de na estação seca e na estação húmida a proveniência dos ventos ser praticamente oposta, que os vãos localizados nas duas fachadas tenham a mesma dimensão. É certo que desta forma não será possível maximizar o aproveitamento do efeito de ventilação cruzada, garantindo também desta forma que a ventilação funcionará nos dois sentidos.

A Figura 4.8 apresenta esquematicamente a possibilidade de intercalar painéis com ou sem vão, abrindo a possibilidade de obter diferentes soluções.

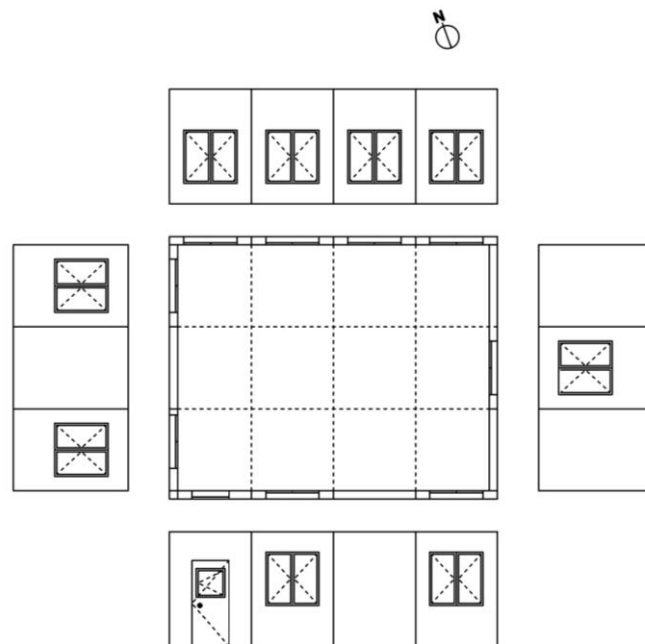


Figura 4.8 – Possível disposição dos vãos nas diferentes fachadas do módulo habitacional base

ii) Protecções solares

Na área em estudo a insolação é geralmente elevada devido à fraca nebulosidade verificada na ilha, associada ao largo período seco, chegando a atingir valores extremos de 11 horas diárias, sobretudo nas zonas mais áridas e semiáridas.

A Figura 4.9 mostra, a amarelo as diferentes posições que o sol toma ao longo dos meses do ano em Cabo Verde, mais concretamente na cidade da Praia. É possível depreender da figura que o Sol

toma posições relativamente verticais, em relação ao solo, sendo que a direcção com maior exposição solar será a fachada Sul.

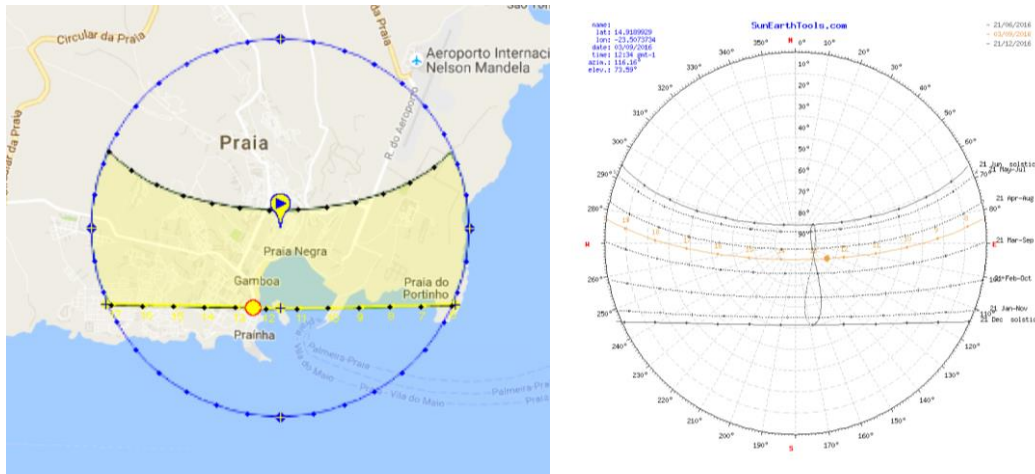


Figura 4.9 – Posições relativas do Sol ao longo do ano em Praia (Sun Earth Tools, 2016)

De forma a calcular o sombreamento horizontal, é fulcral a identificação de três ângulos consoante a fachada, sendo estes o ângulo α , γ_1 e γ_2 , representados na Figura 4.10 (Lamberts R., et al., 2004).

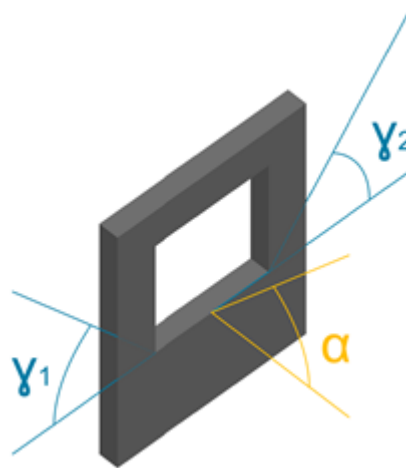


Figura 4.10 - Ângulos de incidência do sol sobre o vão envidraçado

A partir da Figura 4.9, e consultando o Anexo F, correspondente ao trajeto diário do Sol nos diferentes meses do ano, é possível concluir que o Sol, no mês de Junho, faz um ângulo α máximo de cerca de 81° com o horizonte, nos meses de Maio e Julho, de 90° , e no mês de Dezembro, um ângulo máximo de 52° (Figura 4.11).

Podemos também extrair da referida carta a informação relativa ao ângulo de incidência do Sol, na hora de maior calor. Para este efeito foi considerado o intervalo das 12h00 às 15h00, obtendo-se o seguinte resultado apresentado na Tabela 4.4.

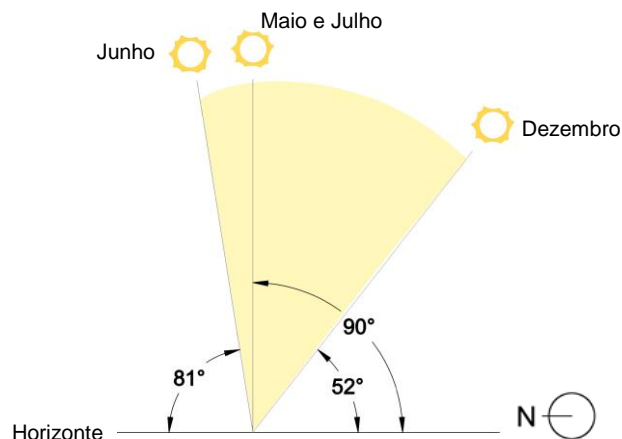


Figura 4.11 – Ângulo α máximo e mínimo atingido pelo Sol ao longo do ano às 13h30m

Tabela 4.4 – Ângulo de incidência do Sol (α) nas Fachadas Norte (Junho e Julho) e Sul (Janeiro e Dezembro), nas horas de maior calor

Fachada Norte				
Hora	12h00	13h00	14h00	15h00
Ângulo com o solo	66°	78°	79°	66°
Fachada Sul				
Hora	12h00	13h00	14h00	15h00
Ângulo com o solo	46°	51°	51°	46°

Ter-se-ão em conta os menores ângulos α que o Sol faz com o horizonte, de modo a dimensionar as palas de sombreamento para a pior situação possível, ou seja, para os ângulos α de 66°, relativamente à fachada Norte e 46°, relativamente à fachada Sul.

Em condições de calor, a circunstância com maior gravidade trata-se da penetração de radiação solar directa proveniente das direcções Este, Oeste e Zenital, uma vez que a penetração de grandes quantidades de energia radiante poderá conduzir também a um aumento das temperaturas interiores da habitação (Martins, 2015).

Será então importante dimensionar os vãos do módulo habitacional de forma a reduzir este efeito, tanto com a redução de envidraçado exposto a tais direcções, como prevendo protecções solares para as mesmas. Estas protecções podem passar por elementos que fazem parte do corpo de um edifício como beirais, beirados, palas, varandas, elementos praticáveis a saliências verticais.

Os elementos de sombreamento podem subdividir-se em sombreamento interno e sombreamento externo, dependendo do local onde estes são colocados. No entanto, elementos de sombreamento externo apresentam um maior desempenho uma vez que intersectam e dispersam os raios solares antes de estes atingirem os vãos envidraçados, podendo desta forma reduzir os ganhos de calor até 80%. As palas horizontais fixas limitam o acesso dos raios solares de maior inclinação vertical, mas provocam uma redução significativa da penetração de luz natural, não sendo também apropriadas às direcções Este e Oeste (Martins, 2015). Devido à orientação e inclinação tomada pelo Sol ao longo do

dia, nas fachadas expostas a Nascente e Poente, caso existam, embora não aconselháveis, será apropriada a utilização de um dispositivo fixo vertical.

Segundo os dados analisados, verifica-se que os maiores níveis de insolação se verificam usualmente entre os meses de Março e Junho, permitindo focar a análise na posição solar destes meses e concluir que, neste intervalo, a inclinação máxima do sol é de 90° e mínima de cerca de 66° , revelando-se a importância da criação de elementos de sombreamento horizontais, para os vãos verticais.

- **Dimensionamento das palas de sombreamento**

Tomando por base a dimensão definida para os vãos envidraçados e a posição do Sol ao longo do ano, foi calculada graficamente a dimensão necessária às palas de sombreamento dos referidos vãos das fachadas Nordeste e Sudoeste para os ângulos α mais baixos que o Sol toma ao longo do ano para cada uma das referidas direcções (Figura 4.12).

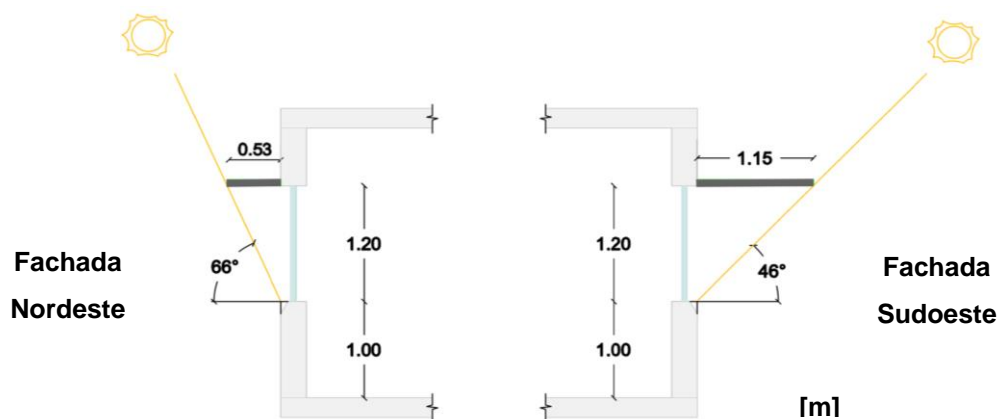


Figura 4.12 – Esquema da incidência da luz solar sobre os vãos envidraçados nas fachadas Nordeste e Sudoeste (ângulos α)

Da Figura 4.12 depreende-se que, para que o Sol não incida directamente sobre o vão envidraçado, será necessário garantir uma pala de sombreamento de 0,53m a Nordeste e 1,15m a Sudoeste. O modo de execução das palas de sombreamento não é previsto pela corrente dissertação.

É usual proceder-se a uma extensão lateral das palas de sombreamento horizontais, a partir do comprimento do vão. Com base na carta solar da zona em estudo, é possível executar a marcação de cada uma das fachadas do edifício, permitindo proceder a um estudo detalhado da incidência do Sol, em cada uma destas ao longo do ano (Figura 4.13).

Com base na incidência do Sol nas diferentes fachadas, o dimensionamento é feito para uma determinada altura do ano, conforme se concluir mais indicada. Neste caso, para o dimensionamento das palas horizontais, foram considerados os meses de Junho e Dezembro, sendo que, estas duas representam as épocas em que o Sol viaja num ângulo mais baixo em relação ao horizonte, tanto para a fachada Nordeste, em Junho, como para a fachada Sudoeste, em Dezembro. Foram tomadas para dimensionamento as horas desejadas para o sombreamento dos vãos envidraçados, nomeadamente o período das 12h00m às 15h00m.

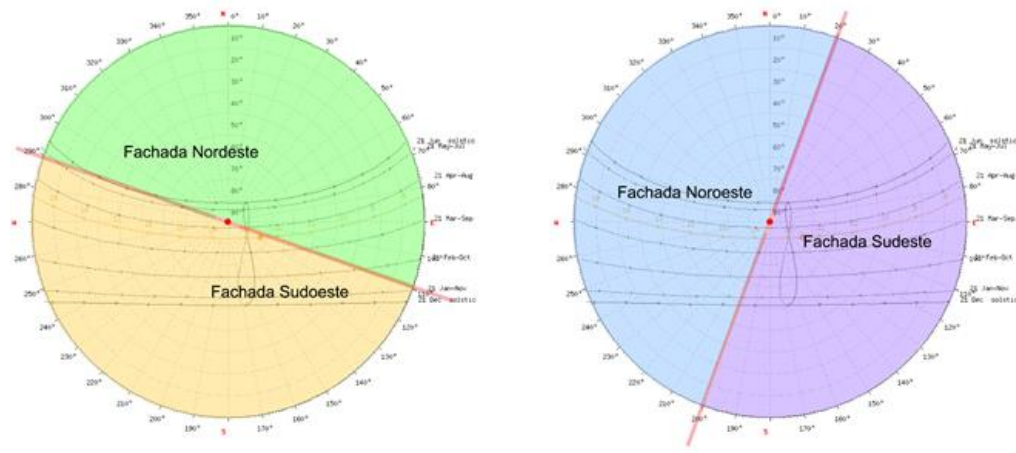


Figura 4.13 – Marcação das fachadas na carta solar

Para cálculo dos ângulos γ_1 e γ_2 foram marcadas as horas de início e fim de sombreamento previstas, como representado na Figura 4.15.

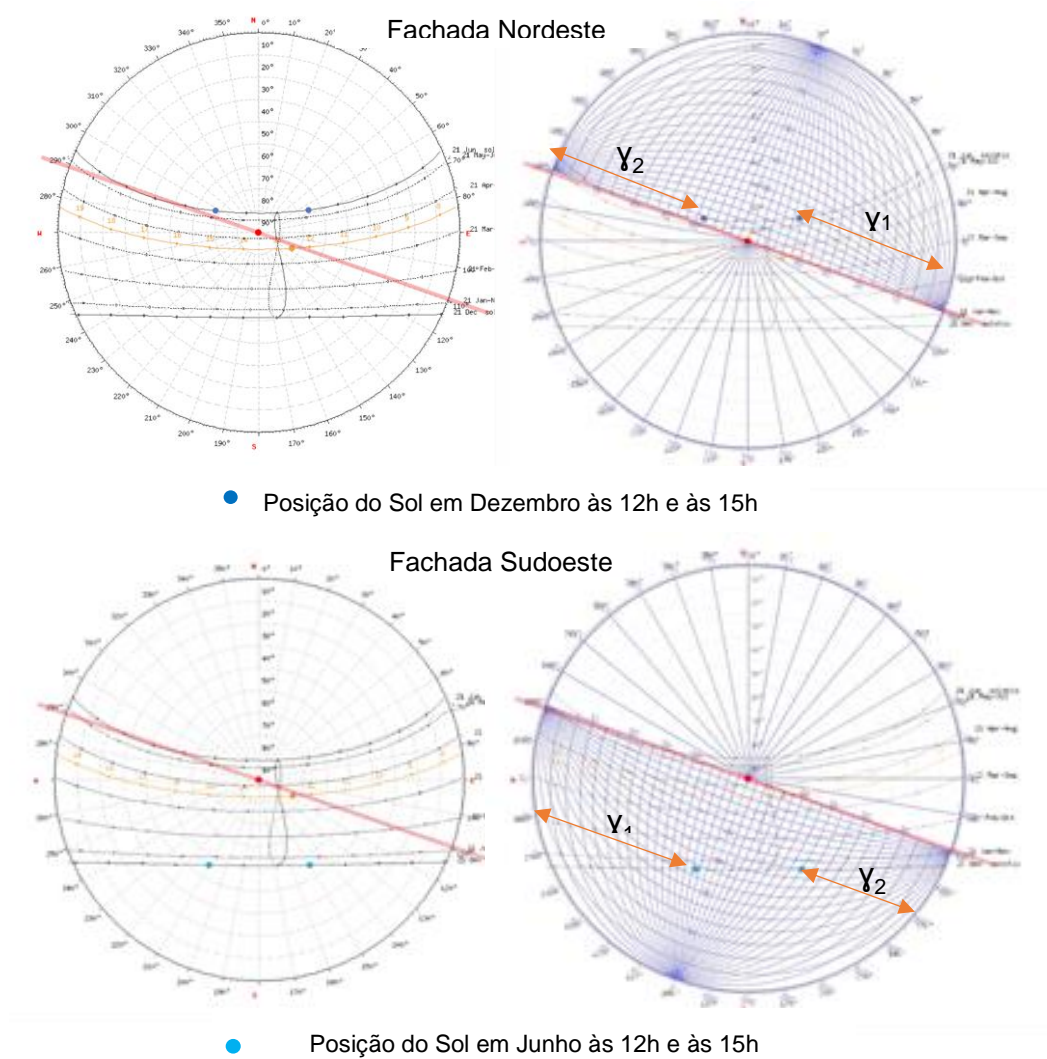


Figura 4.14 - Medição dos ângulos γ_1 e γ_2 na carta solar para as fachadas Noroeste e Sudoeste

Por leitura da carta solar, contabilizaram-se os ângulos projectados que o Sol faz com as fachadas, γ_1 e γ_2 à direita e à esquerda, respectivamente, do vão, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 4.5):

Tabela 4.5 – Ângulos de incidência do Sol (γ_1 e γ_2) nas Fachadas Norte (Junho e Julho) e Sul (Janeiro e Dezembro), nas horas de maior calor

Fachada Sudoeste - Dezembro		Fachada Nordeste - Junho	
γ_1	γ_2	γ_1	γ_2
78°	45°	63°	67°

Pela marcação dos referidos ângulos pode determinar-se qual a extensão longitudinal necessária para uma pala de sombreamento presente numa fachada exposta a Nordeste, assim como numa fachada a Sudoeste (Figura 4.15).

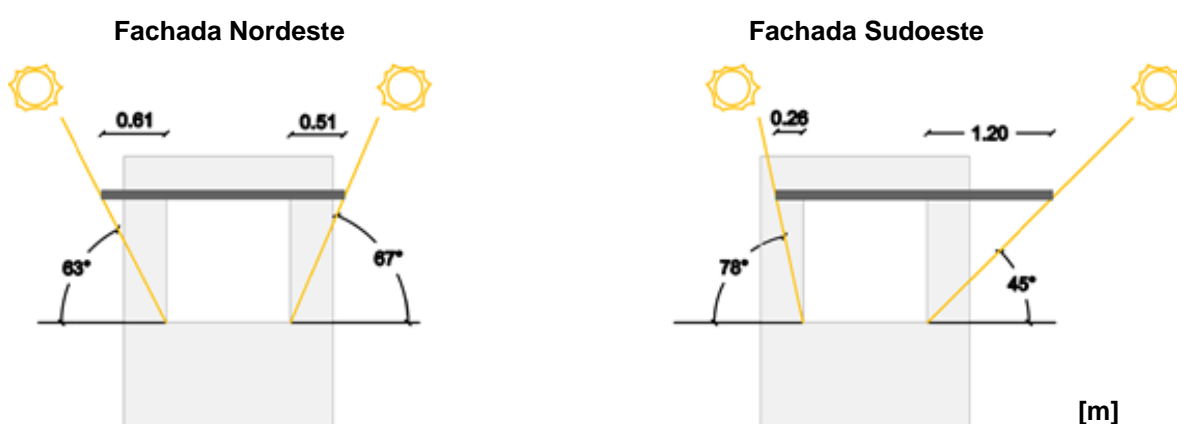


Figura 4.15 – Marcação dos ângulos de incidência γ_1 e γ_2 sobre o vão envidraçado

De forma a uniformizar a produção das palas, será de prever a garantia de protecção para o pior dos casos analisados, ou seja, $\gamma=45^\circ$, originando a seguinte solução (Figura 4.16):

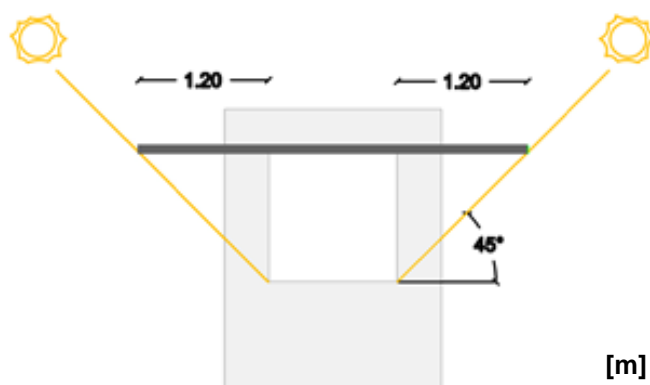


Figura 4.16 – Marcação do ângulo de incidência γ mais gravoso sobre o vão envidraçado

Uma vez que a largura do painel não permite a extensão prevista para a pala de sombreamento, é possível executar uma distribuição da pala ao longo do vão. Obtendo-se a solução seguidamente apresentada, garantindo o sombreamento para qualquer dos ângulos γ identificados (Figura 4.17).

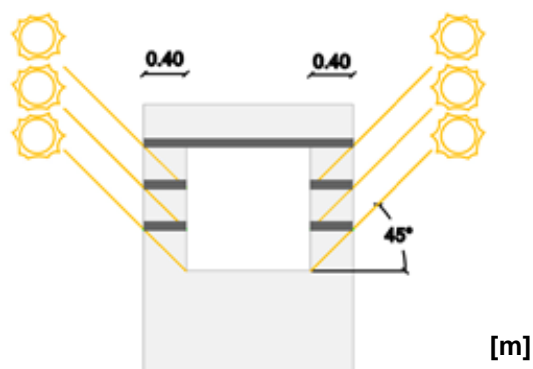


Figura 4.17 – Esquema das palas de sombreamento horizontal tendo em conta o ângulo γ mais gravoso

Uma possível solução simplificada, embora não a mais correcta, será a execução da pala de sombreamento a toda a largura do painel de parede (Figura 4.18).

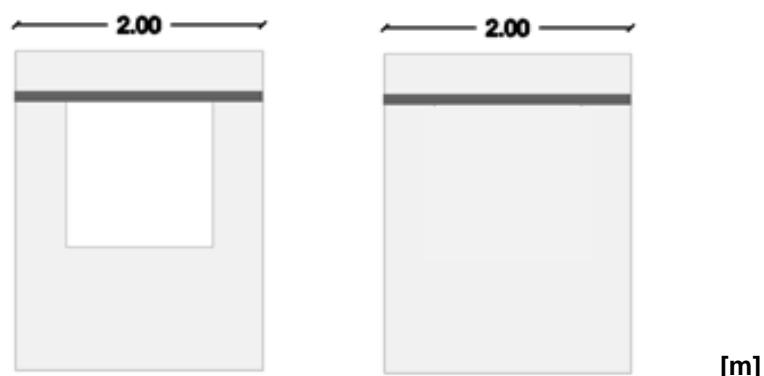


Figura 4.18 – Possível solução de palas de sombreamento para os painéis-tipo

Para o cálculo das palas verticais, caso exista a presença de vãos envidraçados nas fachadas Sudeste e Noroeste, procedeu-se à marcação do ângulo de incidência do Sol nas respectivas fachadas, às 13h00, para a fachada Sudeste e 15h00 para a fachada Noroeste, no mês de Setembro, identificado pelos dados climáticos como o mês mais quente do ano (Figura 4.19).

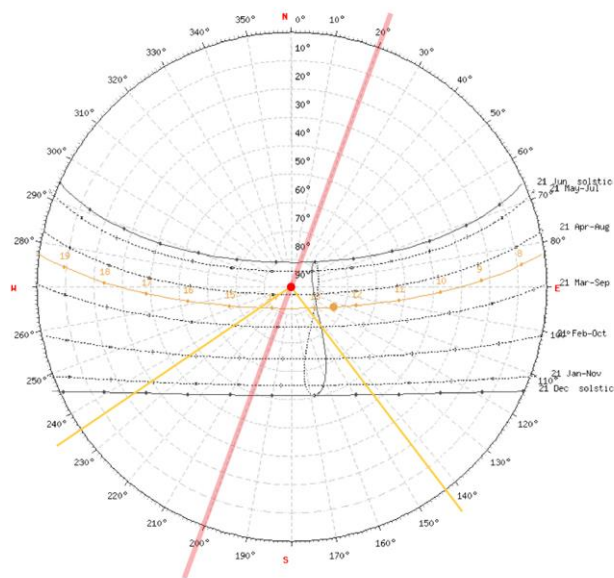


Figura 4.19 – Incidência horizontal do Sol nos vãos envidraçados das fachadas Sudeste e Noroeste na hora de maior calor no mês de Setembro

De seguida procedeu-se à sua projecção em planta sobre o vão e foram projectadas as palas verticais de forma a impedir a entrada da luz solar proveniente de tais direcções, tal como demonstrado na imagem seguinte (Figura 4.20).

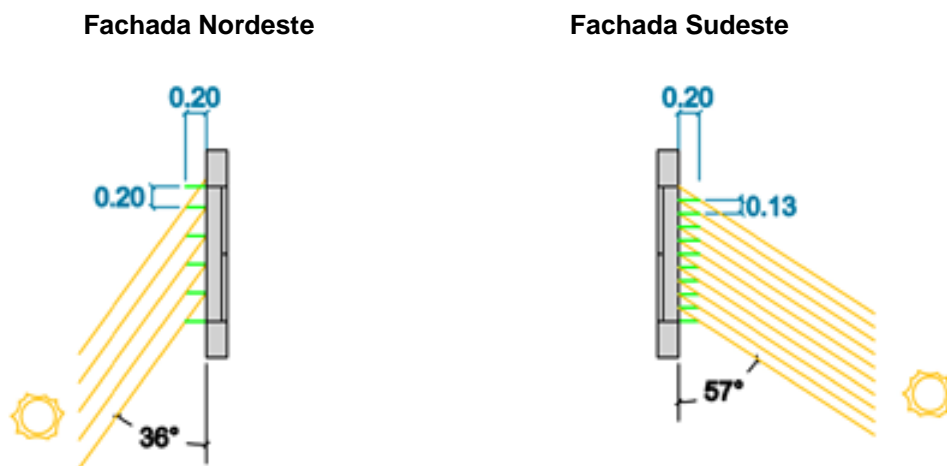


Figura 4.20 – Esquema das palas verticais nos vãos a Noroeste e a Sudeste (vista em planta)

De forma a uniformizar a instalação deste tipo de elementos, deverá ser tomada a solução cuja protecção é projectada para o maior ângulo de incidência, ou seja, a solução da fachada Sudeste, sendo que, uma vez que esta garante o sombreamento do ângulo de 57º considerado, garantirá obrigatoriamente o sombreamento de ângulos de incidência menores. É de salientar que a presença de vãos nas referidas direcções não é aconselhada, servindo o corrente dimensionamento apenas para o caso de se prever em projecto vãos envidraçados nestas direcções.

4.2.5. Materiais constituintes dos painéis

- **Parede**

De acordo com as exigências do painel de parede pré-fabricado e com os mencionados modos de relação entre os diferentes materiais, é então proposta a constituição das diferentes camadas do painel de parede, visando a obtenção de um bom desempenho através da conjugação de diferentes materiais.

Prevê-se que o painel de parede seja constituído por 7 camadas distintas. A partir da superfície de contacto com o ambiente exterior até à superfície de contacto com o ambiente interior, as camadas deverão seguir a seguinte disposição apresentada na Figura 4.21. As camadas 3 e 5 poderão ser adoptadas como um só elemento, no caso de o material seleccionado possuir boas características térmicas e acústicas, tomando a posição da camada 5.

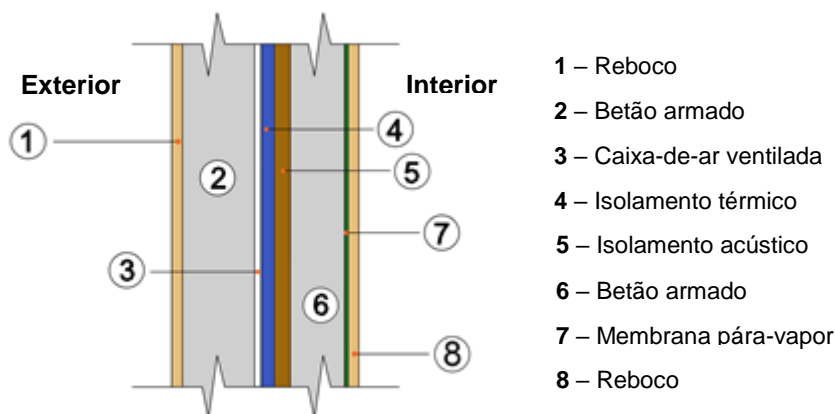


Figura 4.21 – Camadas constituintes do painel de parede pré-fabricado (esquema sem escala)

Existem vários aspectos fulcrais à decisão dos materiais constituintes das paredes, assim como das espessuras adequadas para as camadas constituintes do módulo habitacional, de forma que seja possível conferir ao painel pré-fabricado as características essenciais ao conforto térmico da habitação e à economia da sua produção. Estes factores passam pela definição da espessura necessária à execução das camadas que conferem resistência mecânica ao painel, ao isolamento do mesmo e à garantia dos requisitos de inércia térmica, identificados como essenciais no estudo do conforto higrotérmico do módulo habitacional. Este ponto tem como objectivo a abordagem dos referidos aspectos.

- **Cobertura**

A cobertura será executada com recurso a painéis pré-fabricados do tipo *sandwich*, de estrutura semelhante, em alguns aspectos, aos painéis de parede. A constituição deverá variar pela eliminação da caixa-de-ar, pela substituição da camada fina de betão interior por uma de maior espessura, que passará a desempenhar uma função estrutural, pela colocação de uma camada exterior de betão esbelta, que terá como função a protecção do isolamento interior do painel, assim

como de conferir a inclinação mínima ao painel de forma a providenciar o escoamento natural pluvial por acção da gravidade, pela adição de uma camada de impermeabilização exterior e respectiva protecção da mesma com recurso a jorra vulcânica (Figura 4.22).

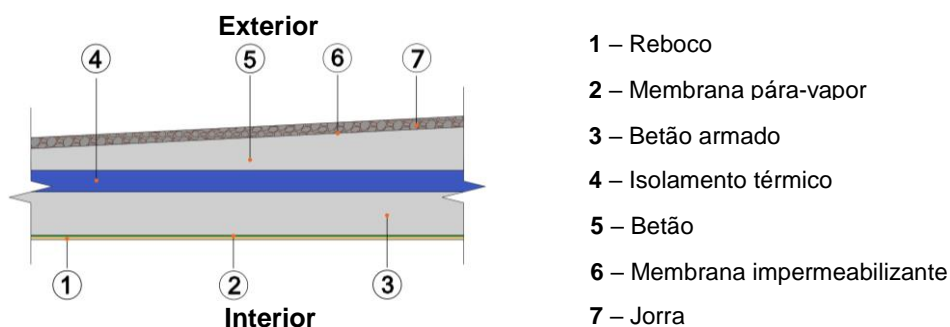


Figura 4.22 – Camadas constituintes do painel pré-fabricado para laje de cobertura (esquema sem escala)

i) Materiais de isolamento

De modo a definir os materiais mais indicados para a execução das camadas de isolamento (3 e 5 da Figura 4.21), serão abordadas neste ponto as características dos materiais identificados como possíveis isolantes térmicos e acústicos a ser usados no sector da construção.

- **Argila expandida**

A produção de argila expandida é um processo relativamente simples que dá origem a materiais com relativamente bom comportamento térmico e acústico, considerando a aplicação da argila expandida em mistura com ligante. A Tabela 4.6 e Tabela 4.7 apresentam alguns dos valores característicos da argila expandida.



Figura 4.23 – Imagem representativa de argila expandida com ligante e sem ligante (Leca, 2016)

Tabela 4.6 – Características técnicas do material – Argila expandida

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Mistura de Argila expandida com ligante hidráulico ⁽¹⁾	480	0,16	(Leca, 2016)
Argila expandida	290 - 700	0,103 - 0,108	(Marcos, 2015)

(1) Nome do produto: Leca® Mix

Tabela 4.7 – Características acústicas do material – Argila expandida

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Argila expandida	0,8 (5cm)	-	(Asdrubali, 2006)

- **Lã de vidro**

Actualmente é já possível a reciclagem de vidro para a produção de lã de vidro (Figura 4.24). Este produto é aplicado como isolante térmico e acústico, sem a aplicação de qualquer tipo de ligante. A Tabela 4.8 e Tabela 4.9 apresentam alguns valores, característicos deste material.

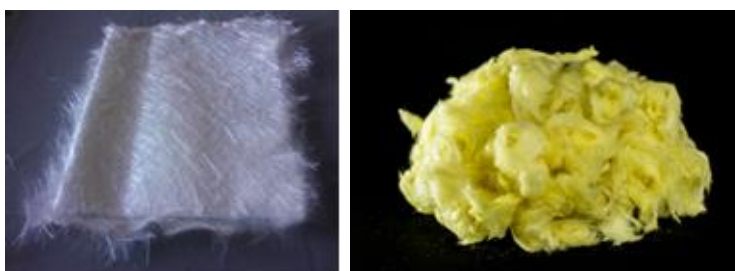


Figura 4.24 – Imagem representativa de fibra de vidro e lã de vidro (mercado livre, 2016 ; B2Blue.com, 2016)

Tabela 4.8 – Características técnicas do material – Lã de vidro

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Fibra de vidro	24 - 120	0,034 - 0,047	(Zhou <i>et al.</i> , 2010)
Fibra de vidro	13 - 100	0,039	(Marcos, 2015)

Tabela 4.9 – Características acústicas do material – Lã de vidro

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Lã de vidro	1 (5cm)	-	(Asdrubali, 2006)

- **Lã de rocha**

A lã de rocha, representada na Figura 4.25, é obtida a partir da fusão de rocha basáltica e do seu seguido tratamento, dando origem a um material com um óptimo desempenho, frequentemente utilizado com isolante térmico e acústico no sector da construção. Apresentam-se na Tabela 4.10 e na Tabela 4.11, segundo diferentes autores, alguns valores característicos deste material.



Figura 4.25 – Imagens representativas de lã de rocha (Isolar, 2016 ; ICP, 2016)

Tabela 4.10 – Características técnicas do material – Lã de rocha

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Lã de rocha	80 - 200	0,025 - 0,035	(Zhou <i>et al.</i> , 2010)
Lã de rocha	20 - 150	0,037	(Marcos, 2015)

Tabela 4.11 – Características acústicas do material – Lã de rocha

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Lã de rocha	0,9 (5cm)	-	(Asdrubali, 2006)
Lã de rocha	1,08 (5cm)	1,18 (5cm)	(Sotecnisol)

- **Bagaço de cana-de-açúcar**

O resíduo fibroso da cana-de-açúcar, representado na Figura 4.26 foi estudado por variados autores, de modo a avaliar a sua capacidade de aplicação como isolamento térmico e acústico. A Tabela 4.12 e a Tabela 4.13 apresentam resultados de diferentes autores, sendo que ambos os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, assim como bastante semelhantes no que toca ao comportamento térmico. Segundo Dikmen & Ozkan (2016), as amostras foram testadas a partir de placas de resíduo, sem recurso a qualquer ligante, sendo a sua agregação garantida apenas por aplicação de pressão às mesmas.



Figura 4.26 – Imagens representativas de bagaço de cana-de-açúcar (Asset Services Commodities, 2016 ; Dikmen & Ozkan, 2016)

Tabela 4.12 – Características técnicas do material – Bagaço de cana-de-açúcar

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Fibra de cana-de-açúcar	70 - 120	0.0461 - 0.0531	(Manohar <i>et al.</i> , 2006)
Fibra de cana-de-açúcar sem ligante	250 - 450	0.046 - 0.068	(Dikmen & Ozkan, 2016)

Tabela 4.13 – Características acústicas do material – Bagaço de cana-de-açúcar

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Fibra de cana-de-açúcar	0,13 (2cm)	0,88 (2cm)	(Fouladi, <i>et al.</i> , 2013)

- **Espiga de milho**

Vários autores estudaram a possibilidade da utilização dos resíduos de milho, representados na Figura 4.27, para produção de isolamento térmico e acústico. Vários estudos se debruçaram sobre

esta temática, avaliando não só a possibilidade da utilização do miolo da espiga de milho, assim como da casca do milho, para produção de painéis de isolamento térmico e da fibra de casca de milho como isolamento acústico. A Tabela 4.14 e Tabela 4.15 sintetizam os resultados de alguns desses estudos, denotando que a utilização de casca de milho permite obter resultados bastante superiores aos resultados da utilização do miolo da espiga do milho, sendo que o primeiro apresenta ótimos resultados relativamente à condutibilidade térmica.



Figura 4.27 – Imagens representativas de miolo de milho e casca de milho (Paiva *et al.*, 2011 ; Pandecha *et al.*, 2015)

Tabela 4.14 – Características técnicas do material – Espiga de milho

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Granulado de miolo espiga de milho	Não referenciado	0,096	(Panyakaew & Fotios, 2008)
Placa de granulado de miolo de espiga de milho com cola de madeira	334	0,101	(Paiva <i>et al.</i> , 2011)
Placa de granulado de miolo de espiga de milho com cola de madeira	212	0,139	(Pinto, <i>et al.</i> , 2012)
Placa de casca de milho	112 - 428	0,029 – 0,032	(Pandecha <i>et al.</i> , 2015)

Tabela 4.15 – Características acústicas do material – Espiga de milho

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Fibra de casca de milho	0,16 (2cm)	0,28 (2cm)	(Fouladi, <i>et al.</i> , 2013)

- **Fibra de banana**

Vários autores já se debruçaram sobre o estudo das propriedades da fibra de banana, representada na Figura 4.28, para utilização como isolamento térmico. A Tabela 4.16 apresenta alguns dos valores alcançados experimental e teoricamente, a partir de misturas deste material com outros compostos, assim como sem adições, sujeito ou não a um diverso número de tratamentos. Os resultados obtidos por Paul, *et al.* (2008), foram alcançados a partir de ensaios sobre placas de mistura de fibra de banana com polipropileno, variando o tratamento aplicado nas mesmas, obtendo diferentes resultados consoante o tratamento aplicado.

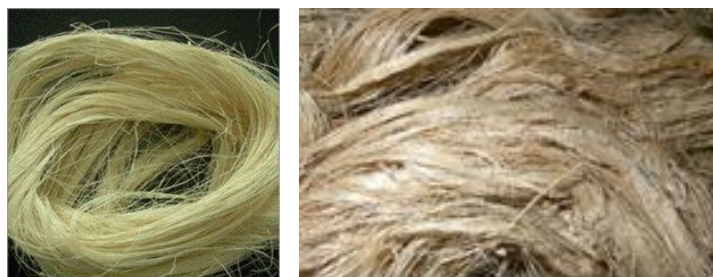


Figura 4.28 – Imagens representativas de fibra de banana (VDELTA GOODS, 2016 ; J. M. Trading, 2016)

Tabela 4.16 – Características técnicas do material – Fibra de banana

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Placa de composto de fibra de banana e polipropileno não tratada	910 ± 10 - 982 ± 35	0,157 ± 0,002 – 0,240 ± 0,001	(Paul, <i>et al.</i> , 2008)
Placa de composto de fibra de banana e polipropileno tratada	982 ± 35 - 1088 ± 37	0,157 ± 0,002 – 0,182 ± 0,002	(Paul, <i>et al.</i> , 2008)
Resultado teórico – composto de fibra de banana não tratada	Não referenciado	0,116 ± 0,001	(Paul, <i>et al.</i> , 2008)

Tabela 4.17 – Características acústicas do material – Fibra de banana

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Fibra de banana	0,181 (- cm)	0,475 (- cm)	(Permanasari, Larasati, & Widiawati, 2014)

- **Sisal**

Neira & Marinho (2005) debruçaram-se sobre a determinação das características térmicas e acústicas da fibra de sisal, representada na Figura 4.29, de forma a avaliar o seu comportamento como isolante térmico e acústico aplicável ao sector da construção. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.18 e na

Tabela 4.19.



Figura 4.29 – Imagens representativas de fibra de sisal (Neira & Marinho, 2005; Alibaba.com, 2016)

Tabela 4.18 – Características técnicas do material – Fibra de sisal

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Manta de fibra de sisal	120 - 140	0,067	(Neira & Marinho, 2005)

Tabela 4.19 – Características acústicas do material – Fibra de sisal

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Placa de fibra de sisal	0,4 (2cm)	0,78 (2cm)	(Bastos, Melo, & Soeiro, 2012)

- **Palha**

Actualmente vários estudos se debruçaram sobre a avaliação do comportamento térmico da palha, representada na Figura 4.30, no âmbito da averiguação da possibilidade da utilização desta como isolante térmico. A Tabela 4.20 que se segue apresenta alguns desses valores.



Figura 4.30 – Imagem representativa de palha (depositphotos, 2016)

Tabela 4.20 – Características técnicas do material – Palha

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Molde preenchido com palha	339,7	0,055	(Marcos, 2015)
Não referenciado	70 - 120	0,045 - 0,07	(Silva F. M., 2013, citado por Marcos, 2015)

- **Fibra de coco**

O resíduo fibroso do coco, representado na Figura 4.31, foi estudado por variados autores, de modo a avaliar a sua capacidade de aplicação como isolamento térmico e acústico. A Tabela 4.21 e a Tabela 4.22 apresentam resultados de diferentes autores, sendo que ambos os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, no que toca ao desempenho térmico. Segundo o autor, os resultados apresentados por Dikmen & Ozkan (2016) são referentes a uma avaliação do material agregado apenas por recurso a compressão, sem recurso a qualquer tipo de cola. No que toca ao isolamento acústico, os resultados não são tão bons como alguns dos produtos frequentemente comercializados com finalidade de isolamento.



Figura 4.31 – Imagens representativas de fibra de coco (VDELTA GOODS, 2016 ; Coconut Vietnam, 2016)

Tabela 4.21 – Características técnicas do material – Fibra de coco

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Fibra de coco	40 - 90	0,0487 – 0,0576	(Manohar <i>et al.</i> , 2006)
Fibra de coco (sem ligante)	60 - 174	0,048 – 0,1	(Rodríguez, <i>et al.</i> , 2011)

Tabela 4.22 – Características acústicas do material – Fibra de coco

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	α_s a 1000 Hz (-)	Autor
Fibra de coco	0,42	-	(Asdrubali, 2006)
Fibra de coco	0,35 (2,8cm)	0,42 (2,8cm)	(Bastos, Melo, & Soeiro, 2012)

- **Fibra de tamareira**

As fibras provenientes das folhas, pecíolos e dos ramos da tamareira, representadas na Figura 4.32, após lavagem e secagem, poderão ser usadas como isolante térmico e acústico. A Tabela 4.23 e a Tabela 4.24, apresentam valores experimentais, obtidos a partir do estudo das diferentes fibras de tamareira, sendo que, o resultado apresentado se trata do melhor valor obtido nos ensaios dos autores para a condutividade térmica deste material.



Figura 4.32 – Imagem representativa de fibra de tamareira (Backyard nature, 2016 ; Dikmen & Ozkan, 2016)

Tabela 4.23 – Características técnicas do material – Fibra de tamareira

Tipo de material	ρ (Kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Autor
Fibra de tamareira	Não mencionado	0,041	(Oushabi, <i>et al.</i> , 2015)

Tabela 4.24 – Características acústicas do material – Fibra de tamareira

Tipo de material	α_s a 500 Hz (-)	$\alpha_{s,min}$ a 1000 Hz (-)	Autor
Placa de fibra de sisal	-	0,93 (5cm)	(Samsudin, Ismail, & Kadir, 2016)

ii) Materiais estruturais

Entenda-se por materiais estruturais, os materiais que possam entrar na composição das camadas resistentes do painel pré-fabricado, previstas em betão armado. Como tal, serão apresentados os materiais endémicos identificados, que poderão tomar um lugar na composição das referidas camadas do painel pré-fabricado.

• Cimento

Sendo o cimento, representado na Figura 4.33, um material obtido à base de calcário e argila, materiais bastante disponíveis no arquipélago, e sendo o cimento um constituinte essencial do betão armado, deve ser explorada a opção da execução do betão armado com recurso a este material, pondo de lado a necessidade de importação de cimento.



Figura 4.33 – Imagem representativa de cimento (Alibaba.com, 2016)

• Pozolanas

Vários autores se debruçaram sobre a utilização de pozolanas típicas de Cabo Verde, provenientes mais propriamente da Ilha de Santo Antão, para produção de betão, tendo alcançado resultados compensatórios relativamente à não utilização de aditivos pozolânicos e até à utilização de pozolanas sintéticas. Como tal, este material é viável à melhoria das características do betão, tornando interessante a possibilidade da sua utilização na composição do mesmo.

• Areia

Devido à escassez de areias de boa qualidade para sua utilização em betão, a utilização das mesmas não é uma alternativa viável.

• Pedra

Uma vez que se trata de um material bastante abundante no arquipélago cabo-verdiano, contrariamente à areia, a possibilidade de utilização de areia mecânica, proveniente de processos de tritamento de pedra, deverá ser estudada, com principal cuidado no que toca aos impactes

ambientais expectáveis da extracção da mesma, com vista à produção areia para utilizar na composição de betão.

iii) Materiais de revestimento

Os materiais considerados como materiais de revestimento serão todos os materiais endémicos identificados como possíveis constituintes de argamassas de revestimento.

- **Cimento**

À semelhança do ponto anterior, sendo o cimento um material obtido à base de calcário e argila, e sendo estes materiais recursos bastante disponíveis no arquipélago, e sendo o cimento um constituinte essencial de argamassas de cimento, deve ser explorada a opção da execução de argamassa de cimento para reboco com recurso a este material, pondo de lado a necessidade de importação de cimento.

- **Pozolanas**

Paralelamente ao ponto anterior, no que toca às argamassas, vários estudos demonstraram a eficiência de pozolanas em argamassas de cimento, no que toca a melhorias conferidas, tanto a nível mecânico, térmico e até mesmo acústico. Como já referido, as pozolanas permitem a execução de argamassas com recurso a água do mar, uma vez que o sal confere maior resistência ao material, aquando da sua reacção com o material pozolânico presente na argamassa, permitindo desta forma uma poupança a nível de gastos de água potável, por vezes tão escassa, na execução de argamassas. Todos estes factores tornam interessante a possível utilização deste material na composição de argamassas com a finalidade referida.

- **Areia**

Semelhantemente ao ponto anterior, devido à escassez de areia de boa qualidade para utilização em construção, a utilização das mesmas não é uma alternativa viável no que toca à sua utilização na composição de argamassas.

- **Pedra**

Também à semelhança da informação já referida, uma vez que a pedra se trata de um material bastante abundante no arquipélago cabo-verdiano, contrariamente à areia, a possibilidade de utilização de areia mecânica, proveniente de processos de trituração de pedra, deverá ser estudada, com principal cuidado no que toca aos impactes ambientais expectáveis da extracção da mesma, com vista à produção de areia para utilizar na composição de argamassas de reboco.

- **Gesso**

Obtido a partir do sulfato de cal hidratado, presente em alguns locais do arquipélago de Cabo Verde, maioritariamente na ilha de Maio, este material poderá ser utilizado como acabamento dos painéis pré-fabricados, dependendo da solução de revestimento adoptada.

iv) Materiais de selagem

Os materiais selantes desempenham um papel fulcral no bom funcionamento do módulo habitacional, uma vez que está dependente destes a garantia de uma boa selagem dos painéis aos agentes externos. Uma boa selagem garante a longevidade da solução e contribui para que as características de desempenho das mesmas se alterem o mínimo possível ao longo do tempo.

Como tal, é extremamente importante garantir a qualidade dos mesmos e visto não terem sido identificadas indústrias produtoras deste tipo de materiais no território de Cabo Verde, é inevitável a sua importação. Assim sendo identifica-se a necessidade de importação material vedante como cordão de neopolene, neoprene, airex ou compriband, de selante de poliuretano para as juntas de ligação de painéis, de membranas pára-vapor e de membrana impermeabilizante para os painéis de cobertura (Figura 4.34).



Figura 4.34 – Imagens representativas de cordão de neopolene e de selante de juntas de poliuretano, barreira pára-vapor e membrana impermeabilizante (SOTECNISOL, 2016 ; Quimatecnica, 2016, archiproducts, 2016 ; Leroy Merlin, 2016)

4.2.6. Dimensão das paredes pré-fabricadas

Com vista à definição das paredes pré-fabricadas, serão apresentadas algumas soluções dimensionais dos painéis pré-fabricados constituintes dos semi-módulos.

i) Espessura das paredes pré-fabricadas

Este ponto tem como objectivo a definição das espessuras mínimas das diversas camadas constituintes dos painéis pré-fabricados, sendo que a espessura final ficará dependente do seu dimensionamento final.

- **Camadas estruturais**

A espessura das paredes pré-fabricadas será dependente da espessura definida para os painéis pré-fabricados. A sua espessura será directamente dependente das características exigidas aos materiais constituintes, ou seja, comportamento térmico, acústico e mecânico.

A nível de desempenho mecânico, apenas as camadas 2 e 7, representadas na Figura 4.21, terão um papel relevante.

De modo a conferir propriedades resistentes ao painel pré-fabricado, as duas camadas de betão armado deverão ser devidamente dimensionadas de forma que os requisitos mecânicos exigidos às paredes estruturais sejam cumpridos.

No âmbito desta dissertação, o dimensionamento da estrutura não será abordado, fazendo-se apenas a ressalva que as paredes não deverão ter uma espessura superior a 0,30m, garantindo as exigências dimensionais do módulo e garantindo desta forma a facilidade de transporte do mesmo. A espessura máxima pré-definida para os painéis deve pressupor a existência de todas as camadas previstas para o painel pré-fabricado.

Será calculada apenas a espessura mínima que terá de ser garantida para que se possa garantir uma inércia térmica forte, tal como exigido pela análise de conforto térmico, realizada na corrente dissertação.

Um dos aspectos fundamentais, apontados como solução para garantia do conforto térmico da habitação é, pela avaliação decorrente desta dissertação, a garantia de uma forte inércia térmica da parede.

Com base no Despacho (extrcato) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013, pode definir-se a força da inércia térmica de um elemento ou edifício pelos seguintes valores, apresentados na Tabela 4.25:

Tabela 4.25 – Classes de inércia térmica interior (Despacho (extracto) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro, 2013)

Classe de inércia térmica	I_t (kg/m ²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A inércia térmica encontra-se directamente relacionada com a massa térmica dos elementos constituintes do módulo habitacional, uma vez que a inércia térmica (I_t) se designa pela massa

superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, podendo ser calculada recorrendo à expressão apresentada no (extracto) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013):

$$I_t = \frac{\sum_i (M_{s,i} \cdot r \cdot S_i)}{A_p} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (4.1)$$

Sendo que $M_{s,i}$ corresponde à massa superficial útil do elemento i (kg/m^2), r ao factor de redução da massa superficial, S_i à área da superfície interior do elemento i (m^2) e A_p à área interior útil de pavimento (m^2).

O REH despreza, simplificada, a influência do calor específico característico dos vários materiais constituintes dos elementos construtivos, considerando que a capacidade térmica de um elemento construtivo depende apenas da sua massa superficial útil ($M_{s,i}$).

A massa superficial útil de cada elemento construtivo é função da sua localização no mesmo e da sua constituição, sendo que a Figura 4.35 identifica os casos genéricos de elementos construtivos a avaliar na determinação da massa térmica de um edifício e, conseqüentemente da inércia térmica do mesmo. Os elementos podem ser do tipo:

EL1 – elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior em contacto com outra fracção autónoma ou com edifício adjacente;

EL2 – elementos em contacto com o solo;

EL3 – elementos de compartimentação interior da fracção autónoma em análise.

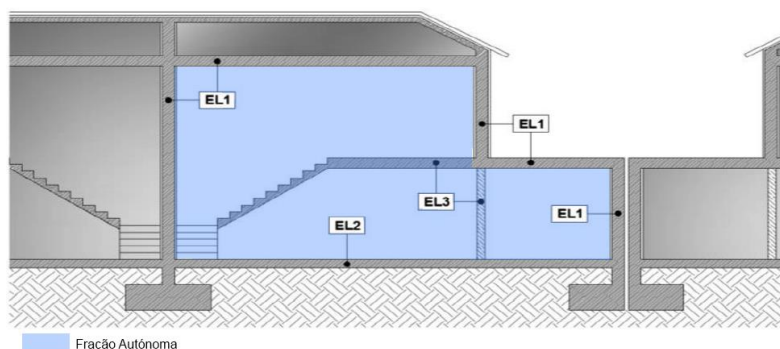


Figura 4.35 – Identificação dos elementos construtivos a considerar no cálculo da massa térmica de uma fracção autónoma (Adaptado de: Martins, 2015)

Como já referido, o fluxo de calor apenas penetra uma determinada espessura dos elementos sujeitos à acção do mesmo e existem certas circunstâncias, como é o caso de elementos construtivos com isolamento térmico ou caixa-de-ar, que restringem a passagem do fluxo de calor. O Despacho (extracto) n.º 15793-K/2013 de 3 de Dezembro (2013) estabelece então as referidas condições, resumidas na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 – Regras a aplicar no cálculo dos valores da massa superficial útil dos elementos construtivos (Adaptado de: Martins, 2015)

$M_{s,i}$ (kg/m ²)	$M_{s,i_{máx}}$ (kg/m ²)	Condição		
		Sem isolamento térmico		Com isolamento térmico
Elemento construtivo		Sem caixa-de-ar	Com caixa-de-ar	
EL1	150	$\frac{m_t}{2}$	m_{pi}	m_i
EL2	150	150 kg/m ²		m_i

⁽¹⁾ o valor de $M_{s,i}$ tem de ser avaliado, de forma isolada, em cada um dos lados da camada de isolamento térmico. As $M_{s,i}$ calculadas para cada lado não podem ser superiores a 150 kg/m².

Sendo m_t a massa total do elemento (kg/m²), m_{pi} a massa do elemento desde a caixa-de-ar até à face interior (kg/m²) e m_i a massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior (kg/m²).

Para definição da inércia térmica do módulo habitacional foram ignoradas as paredes interiores que deverão ser de composição leve, não tendo desta forma um papel relevante na determinação da inércia térmica do módulo habitacional, apresentando-se então apenas os dados relevantes para a avaliação do módulo, nomeadamente os dados relativos aos elementos EL1 e EL2.

O factor de redução da massa superficial está relacionado com o efeito de convexão que se gera nas fronteiras dos elementos construtivos, que tende a fazer decrescer o fluxo de calor que poderá ser transmitido por condução no interior do elemento. Estando dependente da resistência térmica superficial do revestimento interior e de uma possível caixa-de-ar associada ao mesmo (R), o factor de redução da massa superficial poderá ser determinado de acordo com a Tabela 4.27 (Martins, 2015).

Tabela 4.27 – Factores de redução da massa superficial para elementos do tipo EL1, com isolamento térmico (Adaptado de: Martins, 2015)

r		
EL1 e EL2		
$R > 0,30$ (m ² .°C/W)	$0,14 \leq R \leq 0,30$ (m ² .°C/W)	$R < 0,14$ (m ² .°C/W)
0,00	0,50	1,00

Uma vez que a solução apresentada para o painel de parede possui caixa-de-ar no seu interior, cabe às camadas interiores, colocadas interiormente à caixa-de-ar em relação ao painel (camadas 4, 5, 6, 7 e 8), garantir os resultados de inércia forte à solução de parede. Devido à reduzida espessura da camada 7, esta considera-se desprezável para efeitos de cálculo da inércia térmica. De forma deixar em aberto a possibilidade da utilização dos vários materiais de isolamento, as camadas 4 e 5 foram deixadas de fora no que toca ao cálculo da inércia térmica.

Uma vez que a camada de betão interior do painel não possui um papel tão relevante no que toca a conferir resistência mecânica ao mesmo, foi efectuada a avaliação da inércia térmica do módulo, com o intuito de encontrar o menor valor possível para a espessura da camada interior de betão, de forma que se garanta uma inércia térmica forte como recomendado pela análise do diagrama bioclimático apresentado no capítulo 3 e, conseqüentemente o conforto térmico no interior do módulo habitacional.

As tabelas apresentadas no Anexo I demonstram que se consegue garantir uma inércia térmica forte ($I_t > 400$) com uma espessura da camada interior de betão de apenas 6cm, sendo este valor conservativo.

Há que considerar que para o cálculo da inércia térmica apenas foram contabilizadas a caixa-de-ar e a camada interior de betão, uma vez que nesta fase ainda não foram definidos os isolamentos térmicos a aplicar na solução de parede. Uma vez definidos, entrarão para o cálculo da inércia térmica final todas as camadas desde a caixa-de-ar até à face interior da parede. Estes valores conduzirão a um aumento do valor da inércia térmica, permitindo uma redução ainda maior da espessura da camada interior de betão armado.

- **Camadas de isolamento**

A nível de desempenho térmico será necessário abordar a possibilidade das várias combinações de materiais, garantindo que as espessura do material garantirá valores de condutibilidade térmica baixos, assim como um bom desempenho acústico. A espessura do isolamento térmico foi calculada de forma que a combinação de painéis de fronteira exterior de uma divisão perfizesse um coeficiente de transmissão térmica médio (U_m) de $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, sendo que este valor marca a fronteira entre um bom ou mau valor, ou seja, um valor de U_m inferior a $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ significa que a parede tem um bom comportamento, no que toca à transmissão de calor, enquanto que um valor superior a $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ significa que o seu comportamento não é considerado como bom.

De forma que seja possível a avaliação do módulo, visto que não são definidas divisões interiores do mesmo, os cálculos que deram origem aos valores apresentados, são relativos a uma série de relações entre o número de painéis de fronteira com o exterior, que uma divisão interior poderá apresentar. São apresentados valores para as relações de 1:1:0, 1:2:0 e 1:3:0 (Painel com vão para janela : Painel simples sem vão : Painel com vão para porta) (Figura 4.36).

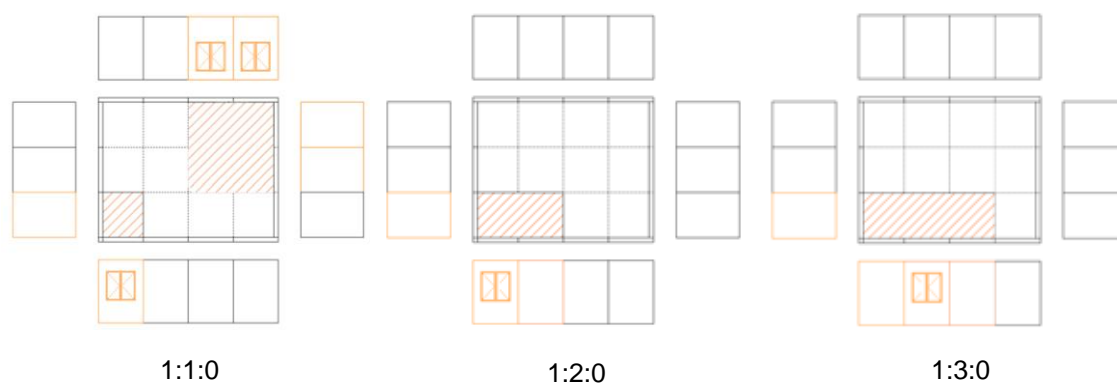


Figura 4.36 – Exemplos de tipologias da divisão, consoante a fronteira exterior considerada, para o caso 1:1:0, 1:2:0 e 1:3:0 (Painel com vão para janela : Painel simples sem vão : Painel com vão para porta)

Com base na bibliografia apontada, em conjunto com alguns valores provenientes do ITE50, a partir da condutibilidade térmica aferida para cada um dos materiais, e com base no coeficiente de transmissão térmica apontada para uma janela simples de pano duplo em alumínio, foram calculadas

as espessuras de isolamento térmico (e_{isol}) e de betão (e_b) constituintes do painel pré-fabricado, com base nas fórmulas:

$$U_j = \frac{1}{R_T} \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (4.2)$$

Na fórmula apresentada R_T diz respeito à resistência térmica total da parede, obtida por sua vez pelo somatório das resistências térmicas de cada um dos materiais constituintes da mesma e das resistências superficiais exterior e interior ($R_T = R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}$). A resistência térmica de cada material (R) é obtida pela fórmula:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}) \quad (4.3)$$

Na fórmula anteriormente referida, “e” diz respeito à espessura do material, enquanto que λ designa a condutibilidade térmica do mesmo.

Por último, uma vez que a avaliação terá em consideração uma divisão da habitação e considerando o mencionado rácio entre painéis de parede que componham a fronteira exterior da mesma, o coeficiente de transmissão térmica pode ser obtido a partir da fórmula 4.4, contabilizando as trocas promovidas pelo conjunto dos painéis de parede.

$$U_m = \frac{\sum_j A_j \cdot U_j}{\sum_j A_j} \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (4.4)$$

Na referida fórmula A_j diz respeito à área dos diversos materiais.

Apontando para um resultado de U_m de valor de $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e para uma espessura máxima do painel de $0,3\text{m}$, foi resolvido um sistema de equações com as equações 4.9 e 4.10, de forma a obter os valores óptimos de e_{isol} e de e_b .

Estipulando as variáveis $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7, U_8, e_{isol}, \lambda_{isol}, e_b, e_{b1}$ (espessura de betão referente a A_1) i (número de painéis com vão), j (número de painéis sem vão) e k (número de painéis com porta) foram obtidas as seguintes equações:

$$U_j = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + 2 \cdot \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{betão}}{\lambda_{betão}} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + R_{se}} \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (4.5)$$

Sendo $e_{reboco}=0,015\text{m}$ e $\lambda_{reboco}= 1,3 \text{ (W/m} \cdot ^\circ\text{C)}$:

$$U_j = \frac{1}{\frac{e_{betão}}{\lambda_{betão}} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + 0,193} \quad (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (4.6)$$

Tendo em conta que:

$$U_m = \frac{i \cdot (A_1 \cdot U_1 + A_2 \cdot U_2 + A_3 \cdot U_3) + j \cdot (A_4 \cdot U_4 + A_5 \cdot U_5) + k \cdot (A_6 \cdot U_6 + A_7 \cdot U_7 + A_8 \cdot U_8)}{i \cdot (A_1 + A_2 + A_3) + j \cdot (A_4 + A_5) + k \cdot (A_6 + A_7 + A_8)} =$$

$$= \frac{A_1 \cdot U_1 \cdot i + A_2 \cdot U_2 \cdot i + A_3 \cdot U_3 \cdot i + A_4 \cdot U_4 \cdot j + A_5 \cdot U_5 \cdot j + A_6 \cdot U_6 \cdot k + A_7 \cdot U_7 \cdot k + A_8 \cdot U_8 \cdot k}{A_1 \cdot i + A_2 \cdot i + A_3 \cdot i + A_4 \cdot j + A_5 \cdot j + A_6 \cdot k + A_7 \cdot k + A_8 \cdot k}$$

(W/m².°C) (4.7)

Assim sendo:

$$U_m = \frac{A_1 \cdot \frac{1}{\frac{e_{b1}}{\lambda_b} + 0,193} \cdot i + A_2 \cdot \frac{1}{\frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + 0,193} \cdot i + A_3 \cdot U_3 \cdot i + A_4 \cdot \frac{1}{\frac{e_{b1}}{\lambda_b} + 0,193} \cdot j + A_5 \cdot \frac{1}{\frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + 0,193} \cdot j}{A_1 \cdot i + A_2 \cdot i + A_3 \cdot i + A_4 \cdot j + A_5 \cdot j + A_6 \cdot k + A_7 \cdot k + A_8 \cdot k} +$$

$$+ \frac{A_6 \cdot \frac{1}{\frac{e_{b1}}{\lambda_b} + 0,193} \cdot k + A_7 \cdot \frac{1}{\frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{e_{isol}}{\lambda_{isol}} + 0,193} \cdot k + A_8 \cdot U_8 \cdot k}{A_1 \cdot i + A_2 \cdot i + A_3 \cdot i + A_4 \cdot j + A_5 \cdot j + A_6 \cdot k + A_7 \cdot k + A_8 \cdot k)}$$

(W/m².°C) (4.8)

Com $e_{b1}=0,27m$, $A_1 = 0,68m$, $A_2 = 3,92m$, $A_3 = 1,00m$, $A_4 = 0,47m$, $A_5 = 5,13m$, $A_6 = 0,68m$, $A_7=3,03m$, $A_8 = 1,89m$, $U_3 = 3,1$ $U_6 = e$ $\lambda_b = 2,0$

Os resultados são obtidos pela resolução do sistema com as seguintes equações:

$$\begin{cases} U_m = 1,0 & (4.9) \\ e_b + e_{isol} + e_{caixa-de-ar} + e_{reboco} = 0,3 & (4.10) \end{cases}$$

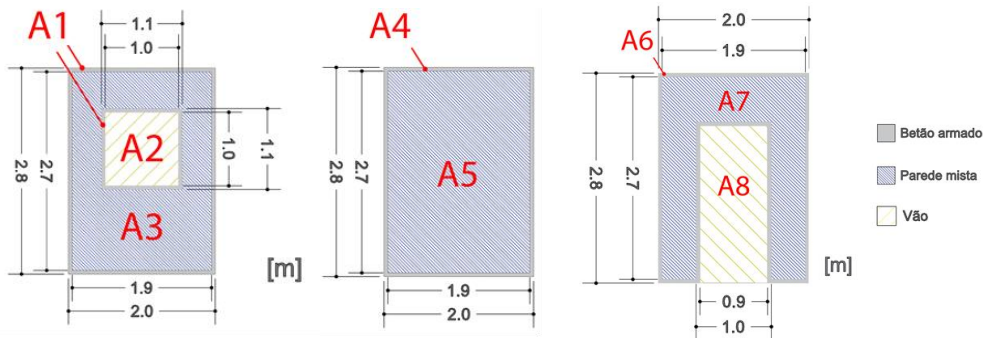


Figura 4.37 – Representação esquemática das diferentes áreas dos painéis

O resultado do cálculo dos referidos valores é apresentado no Anexo H. Deve dar-se destaque ao facto de não ser possível, com base nos valores de condutibilidade térmica identificados para o miolo de espiga de milho, fibra de banana e fibra de sisal resolver o painel de parede apenas com uma espessura de 0,3m. A tabela 4.28 identifica as melhores soluções de isolamento térmico, de entre os materiais disponíveis, apresentando valores para cada uma das composições abordadas (1:1:0, 1:2:0, 1:3:0, 1:1:1, 1:2:1 e 1:3:1). A espessura e_b obtida diz respeito à espessura total do betão de um painel, sendo que esta deverá ser dividida em duas camadas, interior e exterior, tendo em conta que a camada interior terá 6 cm.

Tabela 4.28 – Síntese da espessura de isolamento térmico e consequente espessura máxima para a camada de betão armado exterior, para os casos de melhor desempenho térmico

Isolamento	Condutibilidade de térmica (W/m.°C)	Espessura de isolamento (cm)	Espessura betão armado possível (cm)	Espessura betão armado possível – camada exterior (cm)
Composição 1:1:0				
Casca de milho	0,03	5,0	20	14
Lã de rocha	0,035	5,9	19,1	13,1
Lã de vidro	0,039	6,6	18,4	12,4
Fibra de tamareira	0,041	6,9	18,1	12,1
Composição 1:2:0				
Casca de milho	0,03	4,0	21,0	15,0
Lã de rocha	0,035	4,6	20,4	14,4
Lã de vidro	0,039	5,2	19,8	13,8
Fibra de tamareira	0,041	5,4	19,6	13,6
Composição 1:3:0				
Casca de milho	0,03	3,6	21,4	15,4
Lã de rocha	0,035	4,2	20,8	14,8
Lã de vidro	0,039	4,7	20,3	14,3
Fibra de tamareira	0,041	4,9	20,1	14,1
Composição 1:1:1				
Casca de milho	0,03	6,3	18,7	12,7
Lã de rocha	0,035	7,3	17,7	11,7
Lã de vidro	0,039	8,2	16,8	10,8
Fibra de tamareira	0,041	8,6	16,4	10,4
Composição 1:2:1				
Casca de milho	0,03	4,7	20,3	14,3
Lã de rocha	0,035	5,5	19,5	13,5
Lã de vidro	0,039	6,1	18,9	12,9
Fibra de tamareira	0,041	6,4	18,6	12,6
Composição 1:3:1				
Casca de milho	0,03	4,1	20,9	14,9
Lã de rocha	0,035	4,8	20,2	14,2
Lã de vidro	0,039	5,4	19,6	13,6
Fibra de tamareira	0,041	5,6	19,4	13,4

Aquando da definição das divisões interiores, consoante a composição da envolvente exterior da mesmas, deverá ser seleccionada a composição mais gravosa presente no módulo habitacional, de entre 6 composições possíveis. Uma vez seleccionada, esta composição ditará a espessura de isolamento térmico necessária e, consequentemente, a espessura das camadas de betão do painel, de modo a promover o cumprimento das condições térmicas do módulo habitacional. A definição de uma só espessura de isolamento visa permitir a concepção de um projecto uniformizado, garantindo um processo simples de produção dos painéis em massa.

Os valores fornecidos para a espessura da camada exterior de betão armado dizem respeito a valores máximos para verificar a espessura de 0,3 metros. No eventualidade da solução estrutural da parede permitir uma espessura menor que a espessura máxima fornecida, deverá ser adoptada, de forma a reduzir a espessura e conseqüente dimensão e peso do painel pré-fabricado. Denote-se que, como referido, poderá, após a definição final do painel pré-fabricado, proceder-se a uma redução da espessura da camada interior de betão armado, abrindo maior margem de manobra para a espessura das restantes camadas do painel pré-fabricado.

É de realçar que o cálculo da condutibilidade térmica tem em conta a existência das camadas de betão com a espessura apresentada em cada uma das tipologias. Caso seja possível executar a camada estrutural do painel com uma espessura inferior ao limite apresentado, há que efectuar um acerto na espessura da camada de isolamento térmico, de forma que a condutibilidade térmica do painel pré-fabricado seja mantida. Como tal, foi efectuado o cálculo da espessura de isolante térmico, para cada um dos materiais (Anexo J), de forma que esta seja equivalente à resistência térmica de 1cm de betão armado. Por cada centímetro que seja possível reduzir na camada exterior do betão armado, deve proceder-se ao ajuste da espessura de isolamento térmico, somando à espessura de isolamento prevista inicialmente, uma espessura igual ao produto da espessura de betão armado reduzida pelo valor equivalente da espessura de isolamento térmico.

- **Camadas de revestimento**

Uma vez ponderado o isolamento mais adequado há que definir a espessura das camadas de revestimento que farão parte da composição do painel. Uma vez que estas não possuem requisitos especiais no que toca a características térmicas, acústicas ou mecânicas, a sua espessura poderá ser reduzida, propondo-se uma espessura de 0,015 metros para as mesmas.

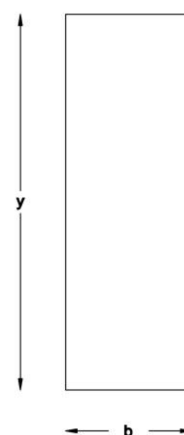
ii) Área dos painéis pré-fabricados

Com base na definição da volumetria do módulo habitacional, mais concretamente dos semi-módulos pré-fabricados, é possível definir o tamanho das paredes pré-fabricadas que darão origem aos mesmos. A área útil dos semi-módulos, em planta, será de 2 metros de largura por 6 metros de comprimento e os dados analisados revelam que a altura mínima de pé-direito é de 2,8 metros. Desta forma prevê-se a criação de paredes pré-fabricadas com as dimensões apresentadas na Tabela 4.29.

Os valores apresentados são relativos a diferentes tipologias de habitação, da tipologia T1 à tipologia T5, sendo que, com a possibilidade de adaptação da mesma ao longo do tempo, os valores dimensionais continuam a seguir os valores apresentados na Tabela 4.29

Tabela 4.29 – Características dimensionais possíveis para as paredes pré-fabricadas constituintes de um módulo habitacional de forma rectangular

	T1	T2	T3	T4	T5
Nº de painéis em b (comprimento)	6				
Dimensão (m x m)	2,8 x 2				
Nº de painéis em y (largura)	8	10	12	14	16
Dimensão (m x m)	2,8 x 2				
Nº de painéis de laje de pavimento	4	5	6	7	8
Dimensão (m x m)	2x6,6				
Nº de painéis de laje de cobertura	4	5	6	7	8
Dimensão (m x m)	2 x 6,6				
Nº de elementos (por módulo)	22	26	30	34	38



iii) Dimensões finais do módulo habitacional

As dimensões do módulo habitacional serão dependentes do número de semi-módulos utilizados para formar o mesmo, sendo que, conforme se acrescente mais uma divisão, ou seja, mais um semi-módulo, a dimensão em planta do módulo habitacional deverá ter um aumento de 12m^2 . Assim sendo, a Tabela 4.30 apresenta as áreas de diferentes tipologias de habitação.

Tabela 4.30 – Áreas relativas às diferentes tipologias da habitação

Tipologia	Número de semi-módulos	Área do módulo habitacional (m^2)	Espessura máxima das paredes (m)	Área útil mínima da habitação (m^2)	Área útil final do módulo (m^2)
T1	4	48	0,3	44,4	$48 - 6.(2.x)$
T2	5	60	0,3	56,4	$60 - 6.(2.x)$
T3	6	72	0,3	68,4	$72 - 6.(2.x)$
T4	7	84	0,3	80,4	$84 - 6.(2.x)$
T5	8	96	0,3	90,4	$96 - 6.(2.x)$

A área útil final do módulo habitacional é dada pela subtração da área, em planta, das paredes exteriores, em $2.x$, por cada painel lateral, sendo 2 a largura do painel e x a espessura final do mesmo, à área útil proveniente da soma dos semi-módulos (12m^2). A área útil mínima foi obtida pela consideração de $x = 0,3\text{m}$.

Tais dimensões cumprem os parâmetros globais mínimos de modo a que a habitação consiga oferecer condições de habitabilidade e conforto condignas, à semelhança de habitações financiadas pelo programa “Uma casa para todos” e de acordo com os valores mínimos apontados pelo RGEU, sintetizados na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2.

4.2.7. Ligações

Com base nos capítulos 2 e 3 da corrente dissertação, definiram-se os métodos de ligação a aplicar na solução modular. De forma a facilitar a compreensão de quais as soluções de ligação adoptadas, o corrente ponto foi dividido em dois subpontos distintos, ou seja, em ligações entre os constituintes dos painéis pré-fabricados e ligações entre painéis.

- Ligação entre os materiais constituintes dos painéis pré-fabricados

Prevê-se a execução da ligação dos elementos constituintes dos painéis pré-fabricados por suporte pontual das lâminas composto por conectores. Este método consiste na colocação de conectores, inseridos entre as lâminas de betão armado do painel, garantindo a ligação mecânica de ambos, assim como a ligação destas aos materiais interiores do painel, garantindo que a posição destes não é alterada ao durante o transporte e utilização (Figura 4.38 e Figura 4.39).

A utilização de conectores de aço será a solução mais simples mas causará uma quebra no desempenho térmico do painel. Uma vez que a importação do aço é inevitável, pode proceder-se ao invés desta à importação de ligações em FRP, visto que é cada vez mais comprovado o bom desempenho deste tipo de produtos, quando utilizados como elementos de ligação, abrindo possibilidade a uma redução menos relevante no comportamento térmico da solução de parede.

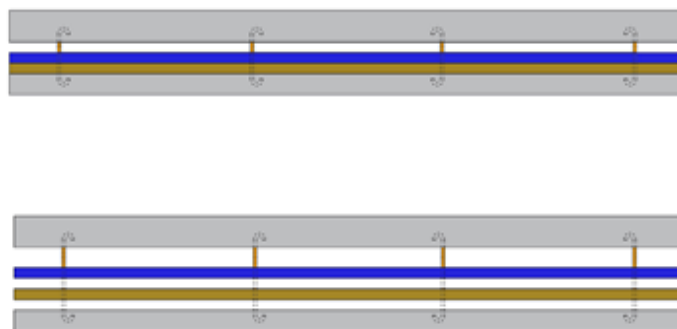


Figura 4.38 – Esquemas de ligação dos materiais constituintes dos painéis pré-fabricado em corte

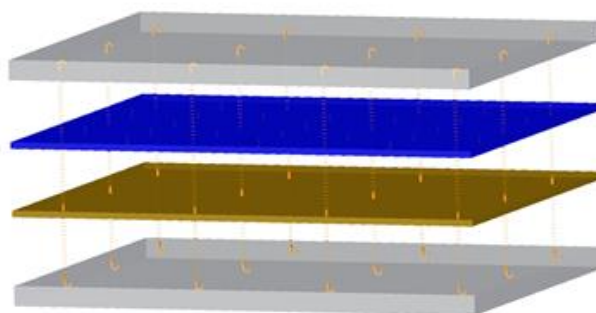


Figura 4.39 – Esquemas de ligação dos materiais constituintes dos painéis pré-fabricados em 3D

- **Ligação entre painéis**

Prevê-se a existência de um sistema de encaixe entre painéis pré-fabricados, de modo a garantir um correcto posicionamento destes relativamente aos painéis adjacentes e de forma a garantir um encaixe mecânico dos mesmos (Figura 4.40).

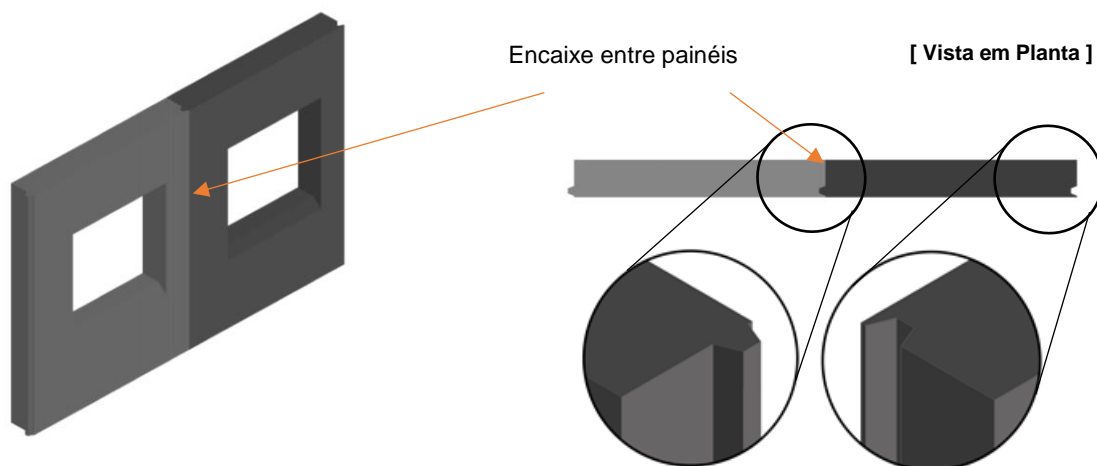


Figura 4.40 – Esquema do sistema de encaixe entre painéis

Para além do sistema de encaixe definido, a união dos painéis num plano contínuo será reforçada por chapas metálicas aparafusadas, enquanto se prevê a ligação dos painéis de canto com recurso a elementos extrudidos em “L”, com sistema de aparafusamento aos painéis pré-fabricados, assim como no caso das ligações laje-painel. Ambos os sistemas de reforço deverão ser revestidos por razões estéticas e de protecção por elementos devidamente projectados para encaixe nas ligações, removíveis para o caso de haver intenção de alteração da tipologia do módulo a partir da adição ou subtracção de semi-módulos ao módulo pré-existente (Figura 4.41 e Figura 4.42).

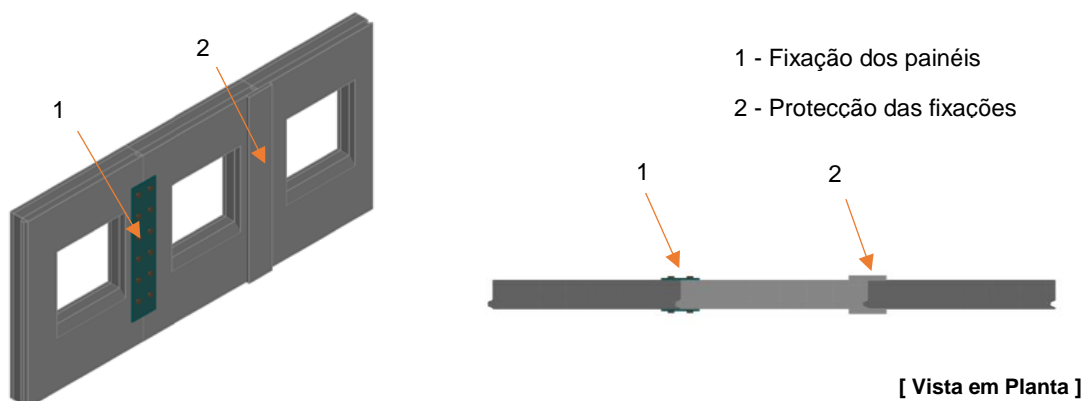


Figura 4.41 – Esquema do sistema de fixação de painéis planares

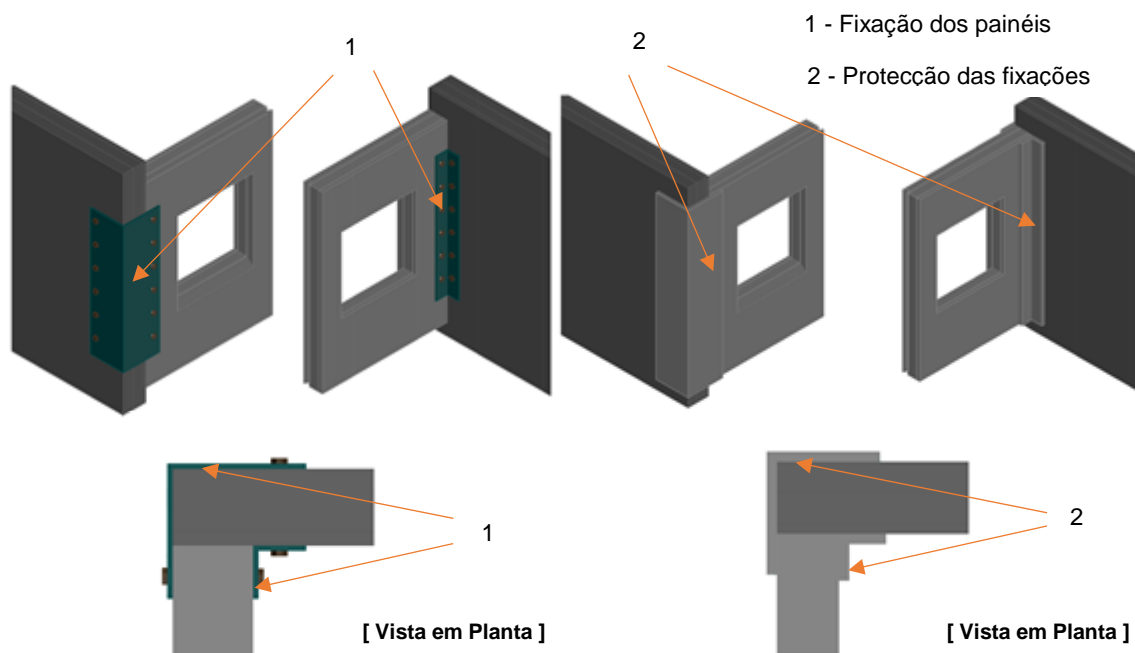


Figura 4.42 – Esquema do sistema de fixação de painéis perde canto

- **Impermeabilização das juntas de ligação**

A impermeabilização das juntas de ligação será garantida por juntas de selagem de dois estágios, recorrendo ao uso de cordão vedante entre painéis e aplicação de selante entre este e as envolventes interiores e exteriores dos painéis. A geometria da junta permite a protecção do selante à exposição solar e à acção mecânica da água, como representado na Figura 4.43.

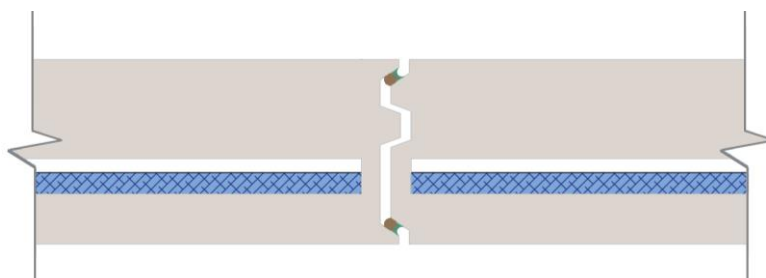


Figura 4.43 – Colocação de isolamento na junta entre painéis

- **Impermeabilização da cobertura**

A cobertura representa um ponto sensível no que toca à garantia de impermeabilização da mesma. Prevê-se, como já referido, que a cobertura de cada semi-módulo apresente uma camada de impermeabilização de forma a garantir a estanquidade do mesmo. Aquando da junção de sub-módulos, para além da colocação prevista de cordão vedante e de selante na junta de ligação, prevê-se a execução de uma selagem desta mesma por colagem, com recurso a uma membrana impermeabilizante designada para a cobertura, cobrindo-a totalmente, garantindo uma impermeabilização superior.

4.3. Síntese

Foi discutido o modelo de habitação modular adaptado ao local, clima e ao processo de montagem mais adequado para o caso de estudo de Cabo Verde.

A definição geométrica do elemento de parede acomodou os constrangimentos e os requisitos que a adaptação de uma solução de pré-fabricação introduz ao produto final. A articulação entre a produção do elemento de parede e o transporte para o local de implantação conduz a que se equacione sempre a oportunidade de poder ocorrer uma produção *in situ*, conseguida com a instalação de uma pequena unidade total.

Os requisitos que o local introduz em termos climáticos e de competência para uma futura utilização e manutenção foram também tidos em consideração.

De modo a facilitar a percepção do produto final do módulo habitacional, a Figura 4.44 representa esquematicamente uma aproximação do aspecto final após a montagem dos diferentes elementos do módulo habitacional, sendo que o aspecto estético, arquitectónico não é abordado no contexto da corrente dissertação.

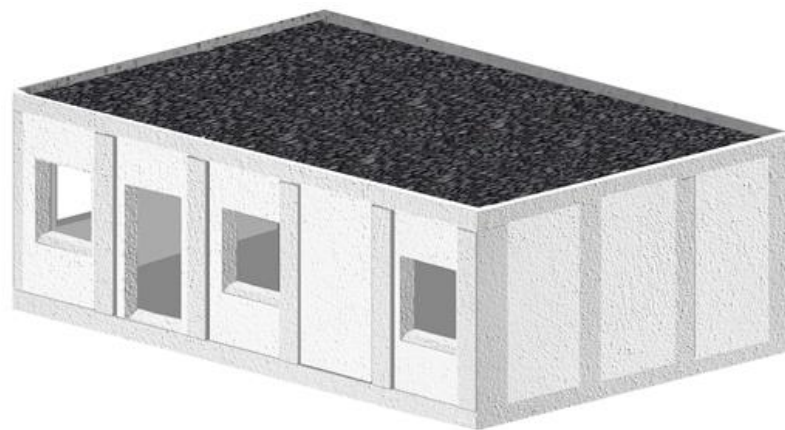


Figura 4.44 – Aspecto possível relativo à montagem dos sub-módulos – Tipologia T1

Conclusões de desenvolvimentos futuros

5.1. Conclusões

A dissertação desenvolveu a abordagem em torno da questão de investigação.

Da investigação realizada concluiu-se a viabilidade de concepção de um modelo de habitação modular adaptável para diferentes contextos geográficos. Em igual modo, a oportunidade de introduzir a solução de pré-fabricação, faz com que a proposta de modelo apresentado tenha maior potencial de resposta e de adequação num quadro de sustentabilidade e satisfação das necessidades de construção de modelos modulares pré-fabricados para Cabo verde.

A oportunidade de a proposta satisfazer e aproveitar as vantagens da pré-fabricação é reforçada pelo desenvolvimento dimensional e de composição do painel gerador da habitação. Em igual sentido, a relação dos materiais mais eficientes foi feita tendo em conta os requisitos exigidos nos diferentes contextos.

A discussão torna clara as vantagens da introdução da pré-fabricação como resposta à problemática.

5.2. Desenvolvimentos futuros

Os materiais avaliados no intuito da constituição dos painéis pré-fabricados-tipo, são avaliados com base em amostras de materiais originários de outra parte do globo. Neste sentido torna-se imperativa a execução de ensaios a materiais provenientes de Cabo Verde, de forma a obter valores característicos mais exactos para o material em questão, assim como, de modo a corroborar os resultados apresentados

No âmbito desta dissertação não foi abordado o dimensionamento estrutural dos painéis pré-fabricados, abrindo assim possibilidade para um trabalho futuro, no que toca ao dimensionamento dos mesmos.

A corrente dissertação, não tendo como objectivo a avaliação da qualidade dos materiais em estudo, no que toca ao desempenho como isolamento acústico, colocando a oportunidade para que possam ser utilizados como base de um estudo futuro.

Algumas das avaliações efectuadas, deram origem a valores mínimos, sendo que, uma vez definida uma composição final do painel, com as suas devidas espessuras, será fulcral que, num trabalho

futuro, se proceda a uma completa avaliação da solução, seguindo o método abordado na corrente dissertação, de modo a otimizar as características do painel pré-fabricado.

De modo a permitir a produção dos painéis de parede, será essencial um estudo dos moldes necessários a uma produção em massa dos mesmos, projectando-os de forma eficiente e duradora, procurando maximizar a sua utilização no processo de produção.

Identifica-se a possibilidade da definição arquitectónica do interior do módulo habitacional, assim como da componente estética dos painéis de parede exteriores, de acordo com a tipologia de habitação identificada para o local de estudo.

Bibliografia

- Amado, M., Pinho, F., Faria, P., & Ramalhete, I. (2014). *Eco-wall modular solutions for buildings, 9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães*. Minho, Portugal.
- Amado, M., Pinto Reaes, A., Alcaface, A., & Ramalhete, I. (2016). *Construção Sustentável - Conceito e Prática*. Portugal: Caleidoscópio.
- Asdrubali, F. (2006). *Survey on the Acoustical Properties of new Sustainable Materials for Noise Control*.
- Bastos, L., Melo, G. d., & Soeiro, N. (2012). *Panels Manufactured from Vegetable Fibers: An Alternative Approach for Controlling Noises in Indoor Environments*.
- Construction Task Force - Movement for Innovation. (s.d.). *Brochura - Movement for Innovation*. Reino Unido.
- Costa, J. (2013). *Construção Prefabricada - Análise da Utilização da Prefabricação nas várias Etapas do processo Construtivo*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Dikmen, N., & Ozkan, S. (2016). *Unconventional Insulation Materials*. Intech.
- Fouladi, M., Nassir, M., Ghassem, M., Shamel, M., Peng, S., Wen, S., Nor, M. (2013). *Utilizing Malaysian Natural Fibers as Sound Absorber*. Intech.
- Governo da República de Cabo Verde, O. d. (Março de 2012), *Quadro programático ao nível do país*. Praia, Cabo verde.
- Henriques, F. (2007), *Humidade em Paredes*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).
- Henriques, F. (2011). *Comportamento Higrotérmico de Edifícios - Sebenta*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Idicula, M., Boudenne, A., Umadevi, L., & Ibos, L. (5 de Maio de 2006). *Thermophysical properties of natural fibre reinforced polyester composites*. Elsevier.
- Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde (INE), (2010). *Censo 2010*. Praia, Cabo Verde.
- Kamali, M., & Hewage, K. (Fevereiro de 2016). *Life cycle performance of modular buildings: A critical review*. School of Engineering, University of British Columbia, Canadá.
- LNEC. (2006). ITE50. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa: LNEC.

- Lopes, B. (2012). *Previsão das Características Térmicas e Acústicas do Módulo de Parede Pré-fabricada da Habitação Modular de Custos Controlados*. Minho, Portugal: Universidade do Minho.
- Lopes, T., & Amado, M. (2012). *Parede Eco-estrutural - Solução Modular para a Construção de Habitação a Custos Reduzidos, Congresso Construção 2012 (4º Congresso Nacional)*. Coimbra, Portugal.
- Lopes, T., & Amado, M. (2013). *Pré-fabricação Aplicada ao Contexto da Reabilitação de Edifícios*. Lisboa, Portugal: 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono .
- Lu, N. (2007). *Investigation of Designers' and General Contractors' Perceptions of Offsite Construction Techniques in the United States Construction Industry*. South Carolina, U.S.A.: Clemson University.
- Manohar, K., Ramlakhan, D., Kochhar, G., & Haldar, S. (2006). *Biodegradable Fibrous Thermal Insulation*. St. Augustine, Trinidad.
- Marcos, J. (2015). *Materiais Naturais Alternativos de Isolamento Térmico*. Vila Real: Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro.
- Marques, N. (2012). *Painéis de fachada em betão pré-fabricado - Comportamento térmico e estrutural*. Almada, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Martins, A. (2015). *Contributo do Projecto Bioclimático para a Sustentabilidade do Edifício*. Almada, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Ministério do Ambiente Habitação e Ordenamento do Território de Cabo Verde. (2009). *Projecto Prohabitar*. Praia, Cabo Verde.
- Monteiro, S., Veiga, É., Fernandes, É., Fernandes, H., Rodrigues, J., & Cunha, L. (2012.). *Crescimento urbano espontâneo e riscos naturais na cidade da Praia*. Cabo Verde.
- Neira, D., & Marinho, G. (2005). *Sisal Fiber (Agave sisalana) as Thermal Insulator of Manifold*. 18th International Congress of Mechanical Engineering.
- Neves, C. (2014). *Materiais e Técnicas Construtivas de Baixo Custo para a Construção em Cabo Verde*. Coimbra, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- Organização das Nações Unidas (ONU). (1948). *Declaração Universal dos Direitos Humanos, Artigo 25º*. New York.
- ONU. (1966). *Pacto Internacional sobre os Direitos Económicos*. New York.
- Oushabi, A., Sair, S., Abboud, Y., Tanane, O., & Bouari, A. (2015). *Natural thermal-insulation materials composed of renewable resources: characterization of local date palm fibers (LDPF)*.
- Paiva, A., Pereira, S., Sá, A., Cruza, D., Varum, H., & Pinto, J. (2011). *A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards*. Elsevier.

-
- Palma, U. (2014). Facultad de Arquitectura y Urbanismo. *Boletín mensual del laboratorio de acondicionamiento ambiental*. Peru: Eureka.
- Pandecha, K., Pongtornkulpanich, A., & Sukchai, S. (2015). *Thermal properties of corn husk fiber as insulation for flat plate solar collector*. International Journal of Renewable Energy.
- Panyakaew, S., & Fotios, S. (2008). *Agricultural Waste Materials as Thermal Insulation for Dwellings in Thailand: Preliminary Results*. Dublin: PLEA 2008.
- Paul, S., Boudenne, A., Ibos, L., Candau, Y., Joseph, K., & Thomas, S. (2008). *Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials*. Elsevier.
- Plano Director Municipal da Praia (PDMP). (2013). *Relatório de Caracterização e Diagnóstico Capítulo II - Dimensão Ambiental*. Praia, Cabo Verde.
- Permanasari, M., Larasati, D., & Widiawati, D. (2014). *Banana Bark as A Part of Acoustic Design Unit by Hybrid Technology Application*.
- Phillipson, M. (2001). *Current Practice and Potential Uses of Prefabrication*. BRE Scotland. Watfor: DTI Construction Industry Directorate.
- Pinto, J., Cruz, D., Paiva, A., Pereira, S., Tavares, P., Fernandes, L., & Varum, H. (2012). *Characterization of corn cob as a possible raw building material*. Elsevier.
- Pinto, R. (2000). *A pré-fabricação na indústria de construção*. Em 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão. Porto.
- Roberto Lamberts, L. (2004). *Eficiência Energética na Arquitectura*. Brasil: Elaboras Procel.
- Robertson, M. (2012). *Sustainable Cities: Local Solutions on Global South*. Ottawa, Canadá.
- Rodríguez, N., Yáñez-Limón, M., Gutiérrez-Miceli, F., Gomez-Guzmanc, O., Matadamas-Ortiz, T., Lagunez-Rivera, L., & Feijoo, J. (2011). *Assessment of coconut fibre insulation characteristics and its use to modulate temperatures in concrete slabs with the aid of a finite element methodology*. Elsevier.
- Samsudin, E., Ismail, L., & Kadir, A. (2016). *A Review on Physical Factors Influencing Absortion Performance of Fibrous Sound Absortion Material from Natural Fibers*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.
- Silva, F. (2013). *Estudo de Materiais de Isolamento Térmico Inovadores*. Porto: FEUP.
- Silva, S. (2009). *A Sustentabilidade e o Conforto das Construções*. Minho, Portugal: Universidade do Minho.
- The National Audit Office. (2005). *Using Modern Methods of Construction to Build Homes More Quickly and Efficiently*. London, UK.
- Zhou, X.-y., Zheng, F., Li, H.-g., & Lu, C.-l. (2010). *An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers*. ELSEVIER.

Webgrafia

- Agência Cabo-Verdiana de Notícias. (02 de Novembro de 2016). *Projecto de relançamento das culturas fruteiras prevê aumentar produção nacional em 20%*. Obtido em Novembro de 2016, de inforpress: <http://inforpress.publ.cv/ambiente/134861-projecto-de-relancamento-das-culturas-fruteiras-preve-aumentar-producao-nacional-em-20>
- Alibaba.com. (s.d.). *Adhesives and sealants*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Alibaba.com: https://www.alibaba.com/product-detail/oil-well-cement_167975899.html
- Alibaba.com. (s.d.). *Sisal fiber*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Alibaba.com: <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1mp0JKVXXXXXPXXXq6xXFXX0/Sisal-hemp-fiber-extracting-machine-Sisal-hemp.jpg>
- Arch Daily. (9 de Fevereiro de 2011). *AD Classics: Nakagin Capsule Tower / Kisho Kurokawa*. Obtido em Abril de 2016, de Arch Daily: <http://www.archdaily.com.br/br/01-36195/classicos-da-arquitetura-nakagin-capsule-tower-kisho-kurokawa/isometrica>
- Archiproducts. (s.d.). *Barreiras anti-vapor*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de archiproducts: <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/112311/isolamento-tetti-e-pareti-barreira-anti-vapor-wutop-ds-100-wurth.html>
- Áreas Protegidas Cabo Verde. (s.d.). *Flora*. Obtido em Setembro de 2016, de Áreas Protegidas Cabo Verde: <http://www.areasprotegidas.gov.cv/index.php/pt/Flora>
- Asset Services Commodities. (s.d.). *Waste products*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Asset Services Commodities: <http://www.asset-service-commodities.com/agri-waste-products.php>
- B2Blue.com. (s.d.). *Flocos Lã de vidro amarelo*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de B2Blue.com: <http://www.b2blue.com/detalhes-anuncio/Venda/vendo-outros-flocos-la-de-vidro/>
- Backyard nature. (s.d.). *Rope making*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Backyard nature: <http://www.backyardnature.net/n/12/120603fs.jpg>
- Coconut Vietnam. (2013). *Coconut fiber market*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Coconut Vietnam: <http://coconutvietnam.com.vn/news/coconut-fiber-market/257.html>
- Depositphotos. (s.d.). *Straw*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de depositphotos: http://st.depositphotos.com/1852539/1541/i/950/depositphotos_15419327-Straw-texture-background.jpg
- Habitat67. (s.d.). *Habitat67*. Obtido em Junho de 2016, de Habitat67: <http://www.habitat67.com/informations/>
- ICP. (s.d.). *Flocos Lã de rocha mineral ICP*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de ICP: <http://industriapaulista.com.br/prods/flocos-la-de-rocha-mineral-icp/>
- Imobiliária, Fundiária e Habitat (IFH).(2016). *Programa Casa Para Todos*. Cabo Verde. Obtido em Abril de 2016, de <http://www.ifh.cv/index.php/casa-para-todos>

Indubel - Indústrias de Betão S.A. (2012). *Portfólio>Obras>Pré-Fabricação*. Obtido em Julho de 2016, de INDUBEL: http://www.indubel.pt/indubel_PT/00_home.aspx

Isolar. (s.d.). *Lã de rocha*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Isolar: <http://www.isolaracustica.com/site/3/o-que-fazemos/87/L-de-Rocha>

Isolar. (s.d.). *Leca - Enchimentos leves*. Obtido em Agosto de 2016, de isolar.pt: http://isolar.pt/ficheiros/file/catalogo_leca2.pdf

J. M. Trading. (s.d.). *Banana fiber*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de J. M. Trading: <http://www.jmtradingpl.com/banana-yarn/banana-fiber/>

Karmod - Prefabricated Technologies. (s.d.). *Huge project completed by Karmod in Iraq*. Obtido em Junho de 2016, de Karmod: <http://www.karmod.eu/completed-projects/prefabricated-modular-houses-building-project-iraq.html>

Leroy Merlin. (s.d.). *Mantas*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Leroy Merlin: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/leroy-production/uploads/img/categories/mantas_asfalticas_6b97_460x300.jpg

Mercado livre. (19 de Maio de 2014). *Manta fibra de vidro*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de mercado livre: http://mlb-d1-p.mlstatic.com/manta-fibra-de-vidro-3341-MLB4840551126_082013-F.jpg?square=false

Miliarium.com. (2005). *Diagrama Bioclimático v.1.0*. Obtido em Agosto de 2016, de Ingenieria Civil y Medio Ambiente: http://miliarium.com/Prontuario/SoftwareArquitectura/Diagrama_Bioclimatico.xls

Olympus-minerals. (s.d.). *Lightweight aggregate*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de olympus-minerals: http://www.olympus-minerals.com/images/lightweight_aggregate.jpg

Protimplant. (Abril de 2016). *Protimplant*. Obtido de <http://www.protimplant.com.br/2011/08/20/curva-de-aprendizado/>

Quimatecnica. (s.d.). *Selante de juntas*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Quimatecnica: <http://www.quimatecnica.com.br/wp-content/uploads/2016/04/siloc-pu-selante-de-componente-unico-para-juntas-de-dilatacao-a-base-de-poliuretano-06.jpg>

Sotecnisol. (s.d.). *Cordão de neopolene*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de Sotecnisol: http://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/Materiais/cordao_de_neopolene_thumb7.jpg

Sotecnisol. (s.d.). *Lã de rocha*. Obtido em Agosto de 2016, de Sotecnisol: http://www.sotecnisol.pt/resources/777f40511b178afb7f9e2c1a7a9e55af/Materiais/ft_sotecnisol_-_la_de_rocha_pn_70.pdf

Sun Earth Tools. (s.d.). *Sun position*. Obtido em Julho de 2016, de Sun Earth Tools: http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt

The Guardian. (s.d.). *Habitat 67, Montreal's "failed dream"- a history of cities in 50 buildings, day 35*. Obtido em Abril de 2016, de The Guardian:

<https://www.theguardian.com/cities/2015/may/13/habitat-67-montreal-expo-moshe-safdie-history-cities-50-buildings-day-35>

The New York Times. (6 de Julho de 2009). *Future Vision Banished to the Past*. Obtido em Junho de 2016, de The New York Times: <http://www.nytimes.com/2009/07/07/arts/design/07capsule.html>

TKGC. (s.d.). *Tela adesiva*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de TKGC: http://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/38398-3574863.jpg

Triumph. (s.d.). *David H Koch Childcare Center*. Obtido em Junho de 2016, de Triumph modular: <https://triumphmodular.com/project/david-h-koch-childcare-center/>

Triumph. (s.d.). *Newman Elementary School Sustainable Temporary Schools*. Obtido em Junho de 2016, de Triumph modular: <https://triumphmodular.com/project/35k-sq-ft-temporary-classrooms-60-days/>

VDELTA GOODS. (s.d.). *Banana fiber*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de VDELTA GOODS: <http://3.imimg.com/data3/MF/QX/MY-5158017/banana-fibre-250x250.jpg>

VDELTA GOODS. (s.d.). *Coconut fiber*. Obtido em 28 de Setembro de 2016, de VDELTA GOODS: <http://www.vdeltagoods.com/coir-net>

Vitruvius. (Janeiro de 2008). *Fachadas pré-fabricadas de GRC*. Obtido em Julho de 2016, de Vitruvius: http://www.vitruvius.com.br/media/images/magazines/grid_9/d1e1fc8fd51d_grc_01.jpg

Anexo A

Síntese das vantagens e desvantagens da aplicação da construção modular

Vantagens	Tempo	Preparação do local da obra e trabalho de construção simultâneos
		Não interrupção dos trabalhos devido a condições meteorológicas adversas
		Menor probabilidade de ocorrência de vandalismo e roubo devido ao calendário reduzido
	Custo	Redução das viagens pendulares
		Redução do transporte de maquinaria
		Redução do preço dos materiais a granel
		Redução do tempo de obra
		Redução do congestionamento na obra
		Redução das taxas de juros devido à rápida construção
		Redução da probabilidade de atrasos devido a condições meteorológicas adversas
		Distribuição das despesas gerais, administrativas e técnicas sobre a produção em quantidade
	Segurança em obra	Redução do risco em obras em altura e actividades com perigos associados
		Redução do congestionamento em obra
		Menor exposição dos trabalhadores a condições meteorológicas adversas
		Redução do tempo de trabalho em obra
	Qualidade do produto	Controlo de produção em fábrica
		Grande rigor na execução da engenharia associada
		Processo e operações repetitivas
		Maquinaria automatizada
		Trabalhadores especializados
Menor exposição dos materiais às condições meteorológicas severas		
Mão-de-obra e produtividade	Necessidade de mão-de-obra menos especializada	
	Operações altamente organizadas	

		Melhor qualidade de supervisão	
		Menor tempo de intervalo entre actividades	
		Maior estabilidade da mão-de-obra	
	Performance ambiental	Redução da produção de resíduos	
		Maior potencial para gestão de resíduos	
		Redução dos distúrbios em obra (barulho, poeiras,...)	
		Ocupação do solo mais eficiente	
		Redução de emissões de gases de efeito estufa	
	Desvantagens	Projecto	Necessidade de um ante-projecto mais desenvolvido
			Dificuldade de executar alterações ao longo do projecto
Restrições de transporte		Limitações dimensionais dos painéis	
		Dificuldade de transporte a longa distância dos módulos	
		Atrasos devidos ao licenciamento de transporte de módulos de dimensões especiais	
		Possíveis atrasos alfandegários em transportes internacionais	
Percepção negativa		Percepção negativa dos novos métodos construtivos	
Elevado custo inicial e restrições de obra		Disponibilidade de mão-de-obra na área de construção	
		Disponibilidade de técnicos especializados na área de construção	
Coordenação e comunicação		Necessidade de maior coordenação entre todas as entidades envolvidas ao longo de todo o projecto	
Custo inicial		Necessidade de elevado custo inicial de forma a garantir o funcionamento das secções de produção (fábrica)	

Anexo B

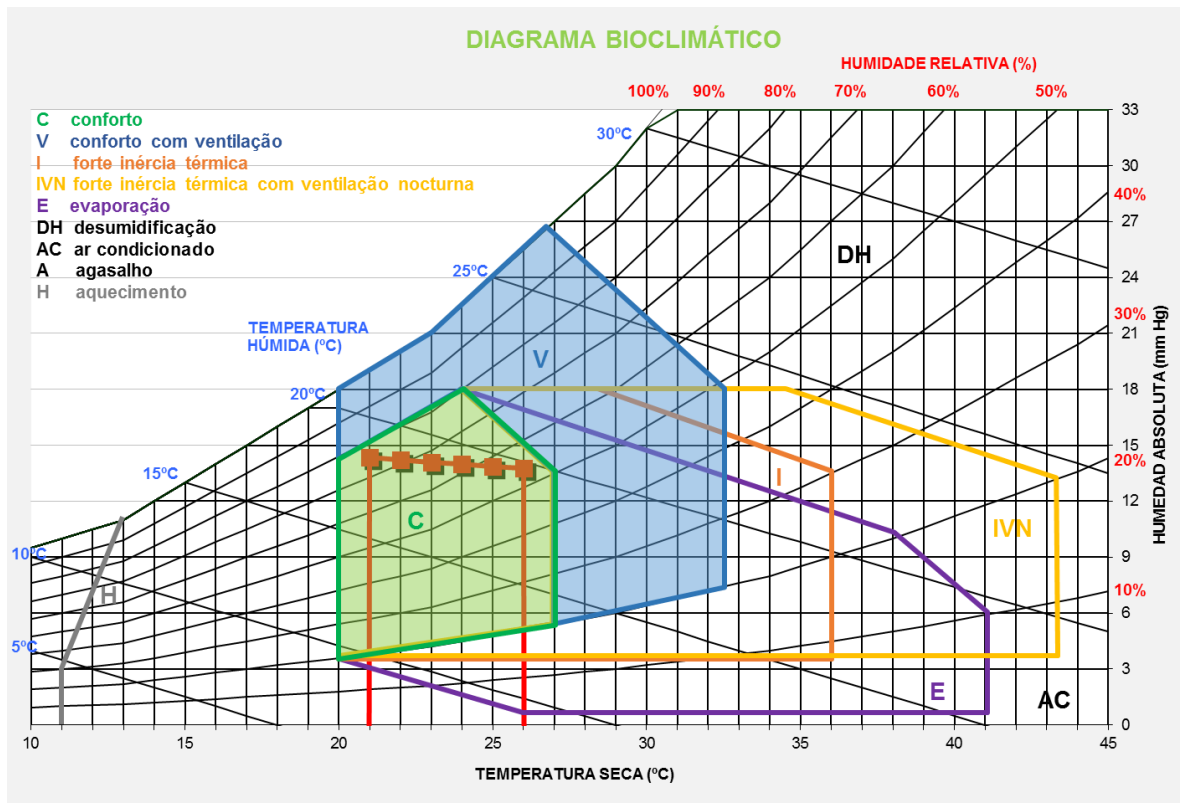
Dados climáticos: avaliação mensal do conforto higrotérmico no interior do edificado pelo Método de Givoni

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Caso 1												
Tmed (°)	23,8	24,6	25	24,6	26,5	26,5	27	27,5	28	28,5	26,9	25
ΔT (°)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Tmin (°)	20,8	21,6	22	21,6	23,5	23,5	24	24,5	25	25,5	23,9	22
Tmax (°)	26,8	27,6	28	27,6	29,5	29,5	30	30,5	31	31,5	29,9	28
Hmed (%)	63	62,2	53,9	61,9	62,2	67,3	67,3	76,2	79,2	72,3	70,3	64,2
ΔH (%)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Hmin (%)	50,5	49,7	41,4	49,4	49,7	54,8	54,8	63,7	66,7	59,8	57,8	51,7
Hmax (%)	75,5	74,7	66,4	74,4	74,7	79,8	79,8	88,7	91,7	84,8	82,8	76,7
Caso 2												
Tmed (°)	24	25,5	25	26	25,5	26,8	26,6	27,9	28	27,9	27	25,5
ΔT (°)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Tmin (°)	21	22,5	22	23	22,5	23,8	23,6	24,9	25	24,9	24	22,5
Tmax (°)	27	28,5	28	29	28,5	29,8	29,6	30,9	31	30,9	30	28,5
Hmed (%)	67,3	71,2	54	59	62,1	73,1	76,1	75,2	79,2	74,1	72,3	67,3
ΔH (%)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Hmin (%)	54,8	58,7	41,5	46,5	49,6	60,6	63,6	62,7	66,7	61,6	59,8	54,8
Hmax (%)	79,8	83,7	66,5	71,5	74,6	85,6	88,6	87,7	91,7	86,6	84,8	79,8
Caso 3												
Tmed (°)	23,6	25	25	24,9	25,5	26,5	26,6	27,5	28,5	27,9	27	24,6
ΔT (°)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Tmin (°)	20,6	22	22	21,9	22,5	23,5	23,6	24,5	25,5	24,9	24	21,6
Tmax (°)	26,6	28	28	27,9	28,5	29,5	29,6	30,5	31,5	30,9	30	27,6
Hmed (%)	66,1	55	54	61	63	72,4	72,5	74,1	76,2	72,2	63	67,3
ΔH (%)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Hmin (%)	53,6	42,5	41,5	48,5	50,5	59,9	60	61,6	63,7	59,7	50,5	54,8
Hmax (%)	78,6	67,5	66,5	73,5	75,5	84,9	85	86,6	88,7	84,7	75,5	79,8

Anexo C

Resultados mensais da avaliação do conforto térmico no interior do edificado pelo método de Givoni – Caso 1

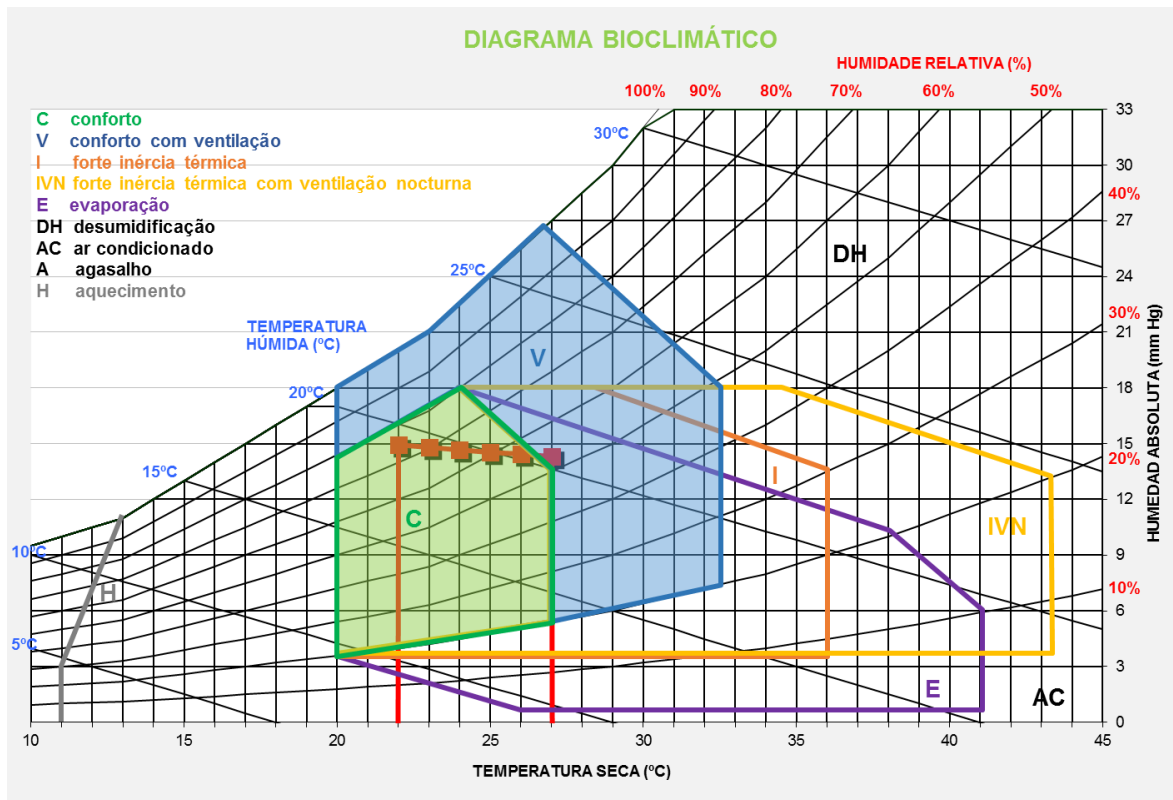
Janeiro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
1	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Janeiro	20,8	26,8	51%	76%	23,8

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

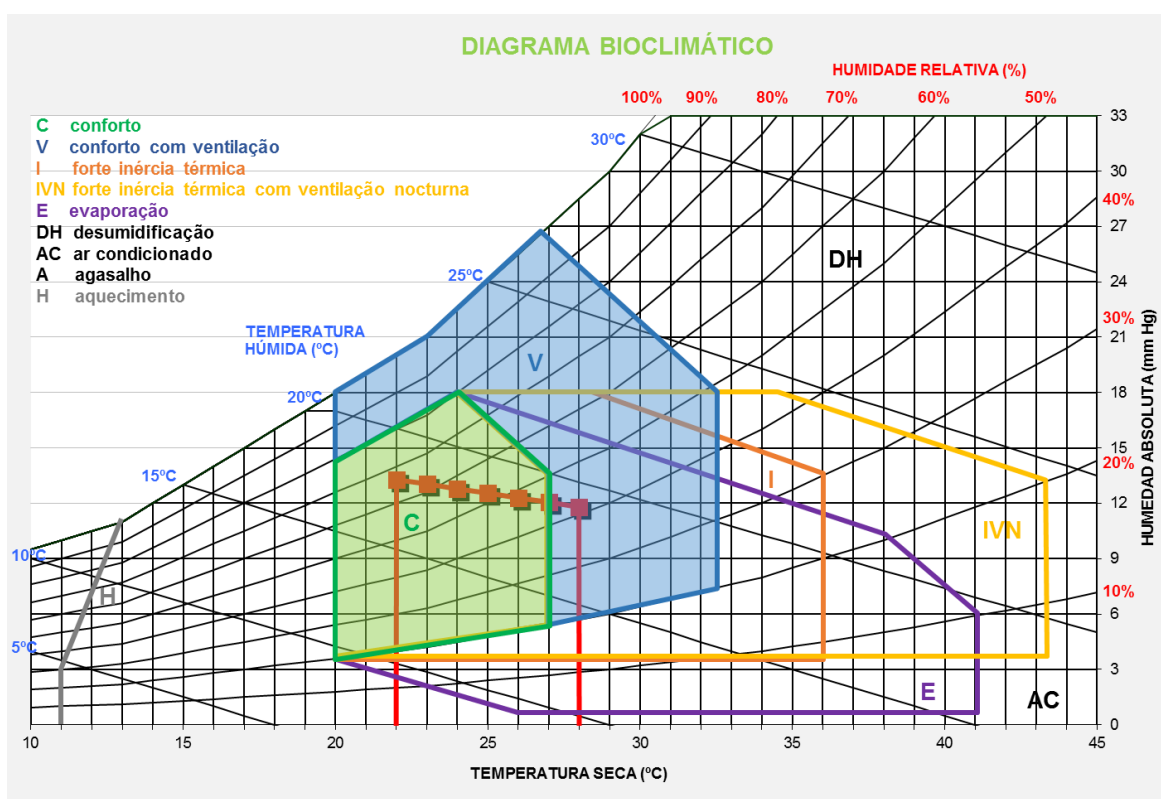
Fevereiro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
2	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Fevereiro	21,6	27,6	50%	75%	24,6

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

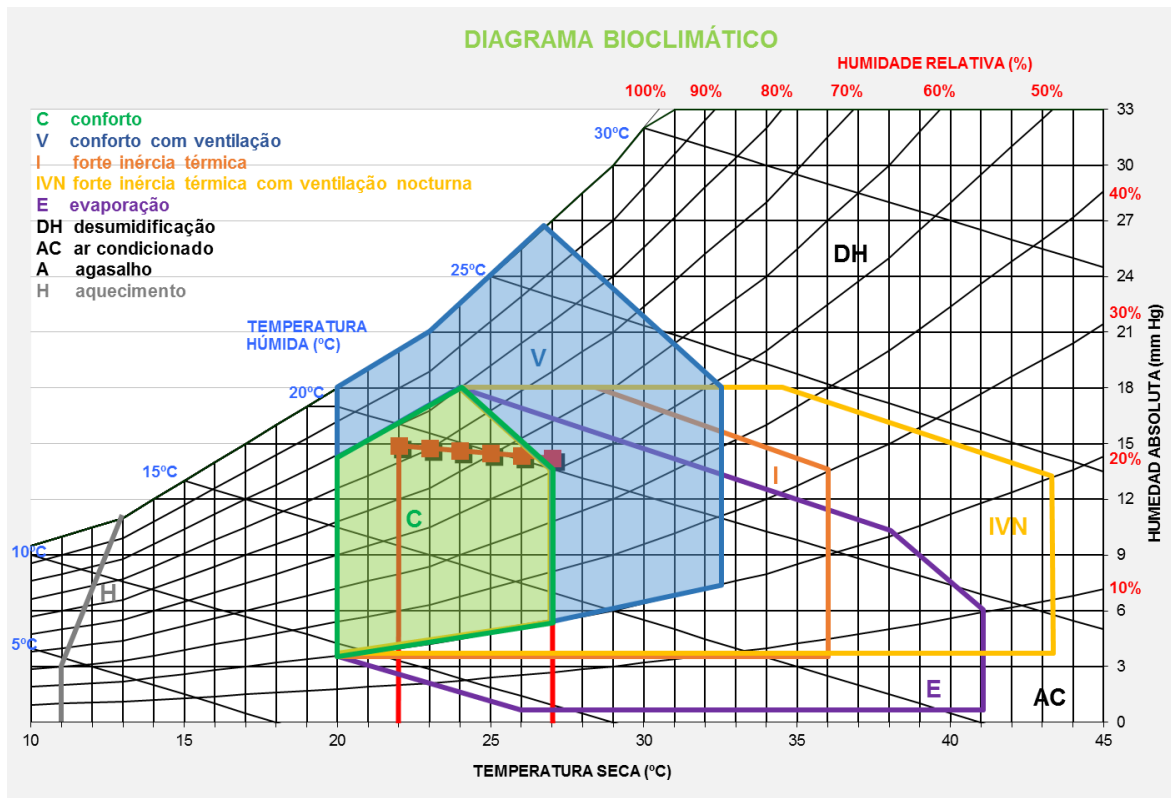
Março



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
3	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Março	22,0	28,0	41%	66%	25,0

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

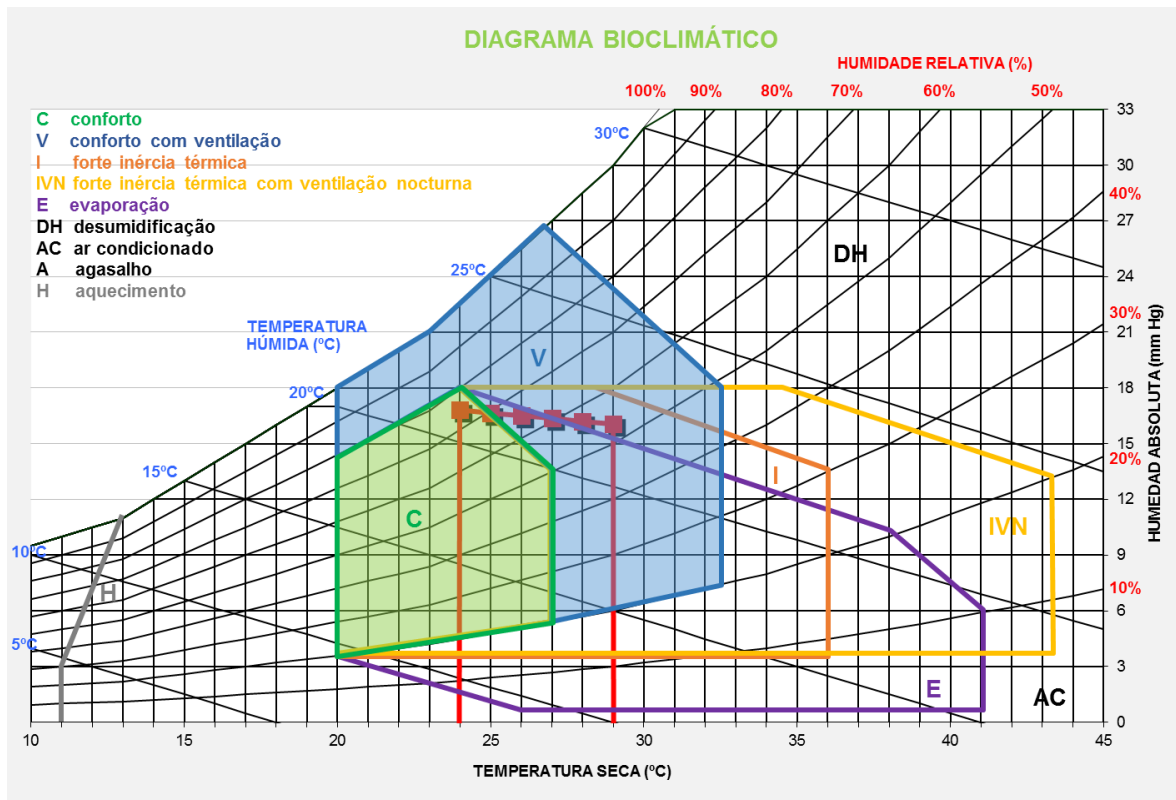
Abril



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
4	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Abril	21,6	27,6	49%	74%	24,6

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.		MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.		MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

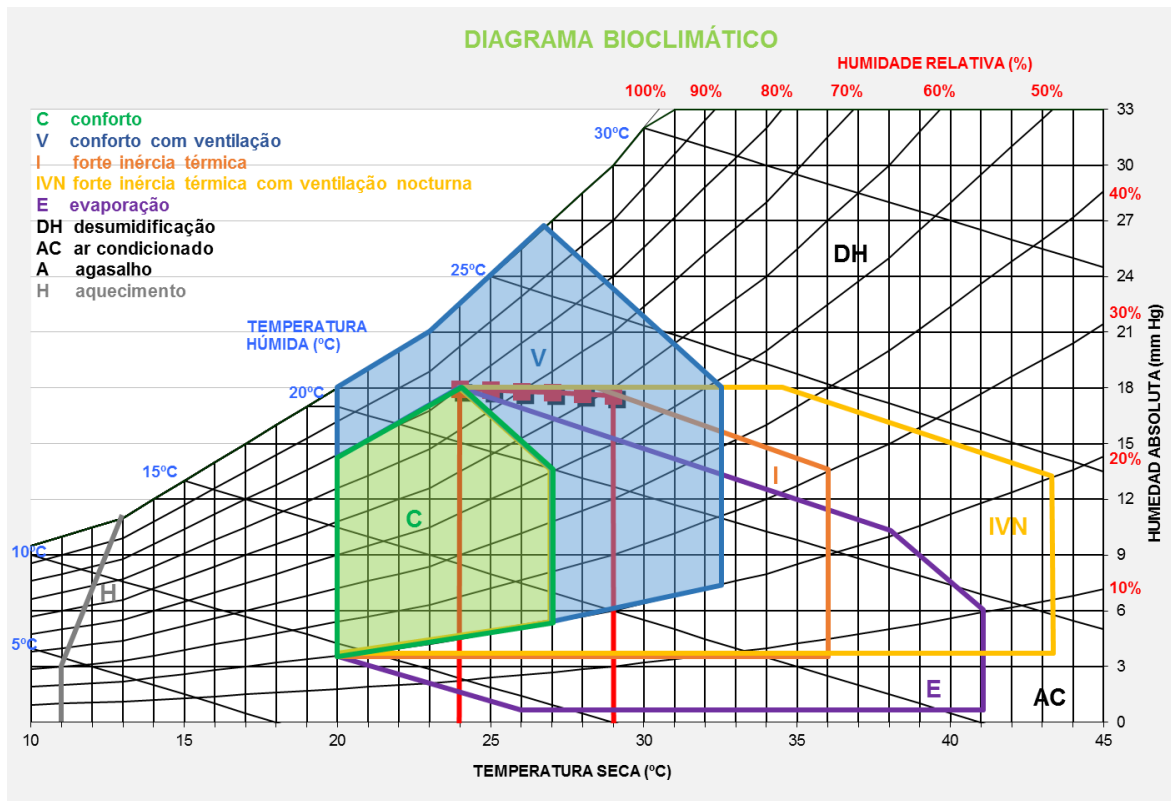
Maio



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
5	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Maio	23,5	29,5	50%	75%	26,5

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃOA RTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COMINERCIA TÉRMICA			

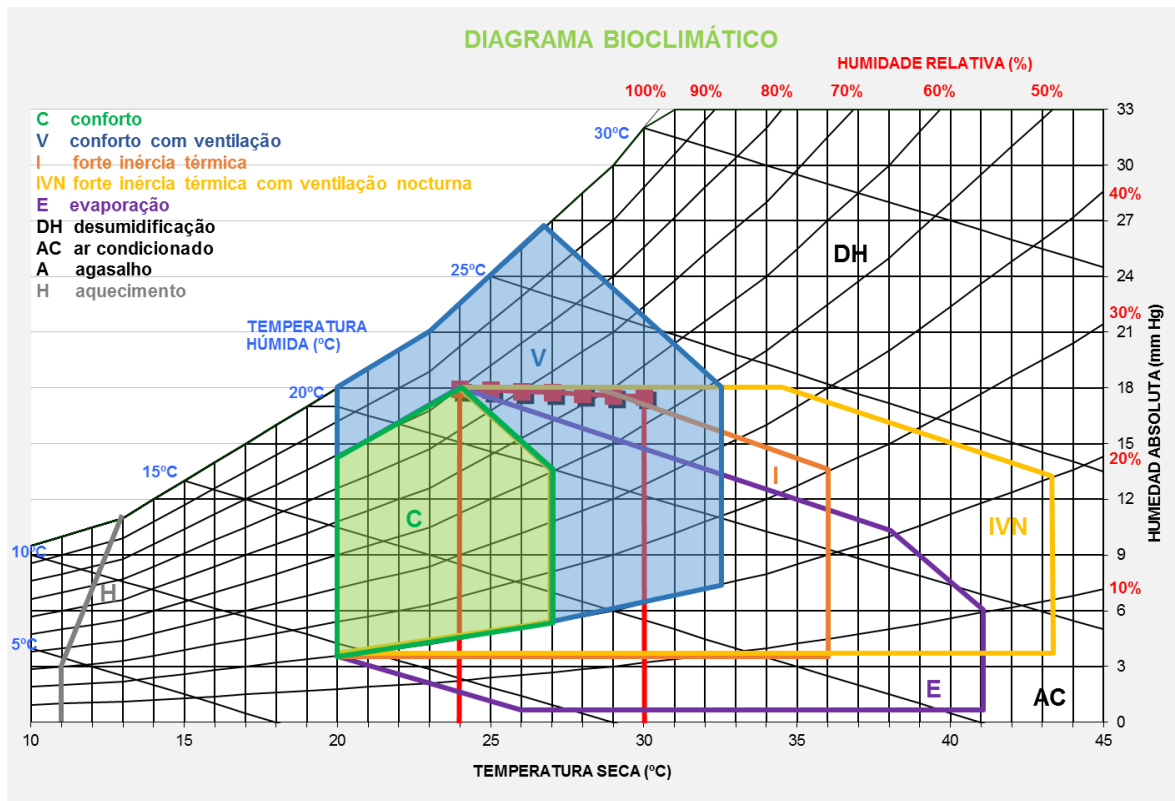
Junho



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
6	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Junho	23,5	29,5	55%	80%	26,5

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		É possível um conforto permanente no interior de um edifício com forte inércia térmica e realizando uma ventilação nocturna eficaz. São necessárias massas térmicas com grande superfície de troca. Será necessária ventilação nas horas de maior calor.	MIN na zona C (ou anterior) e MAX na zona IVN - I
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

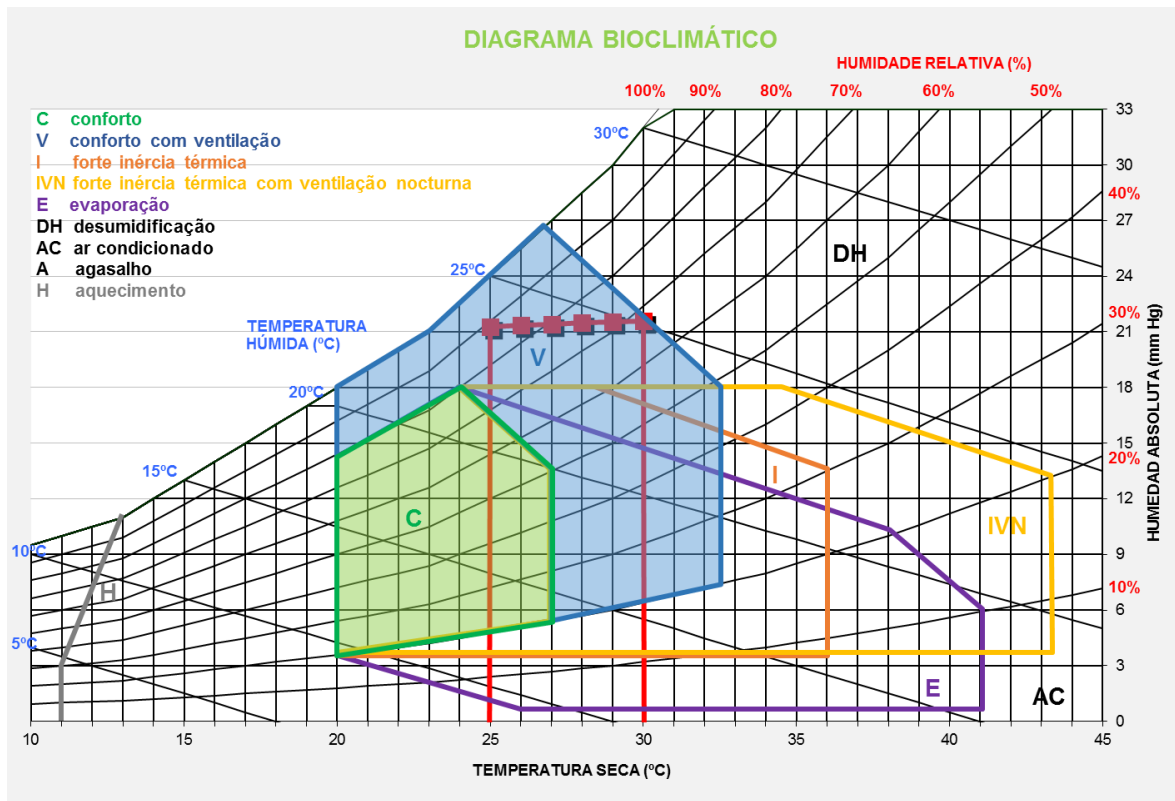
Julho



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
7	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Julho	24,0	30,0	55%	80%	27,0

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
		GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.		MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO	É possível um conforto permanente no interior de um edifício com forte inércia térmica e realizando uma ventilação nocturna eficaz. São necessárias massas térmicas com grande superfície de troca. Será necessária ventilação nas horas de maior calor.		MIN na zona C (ou anterior) e MAX na zona IVN - I
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
		CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

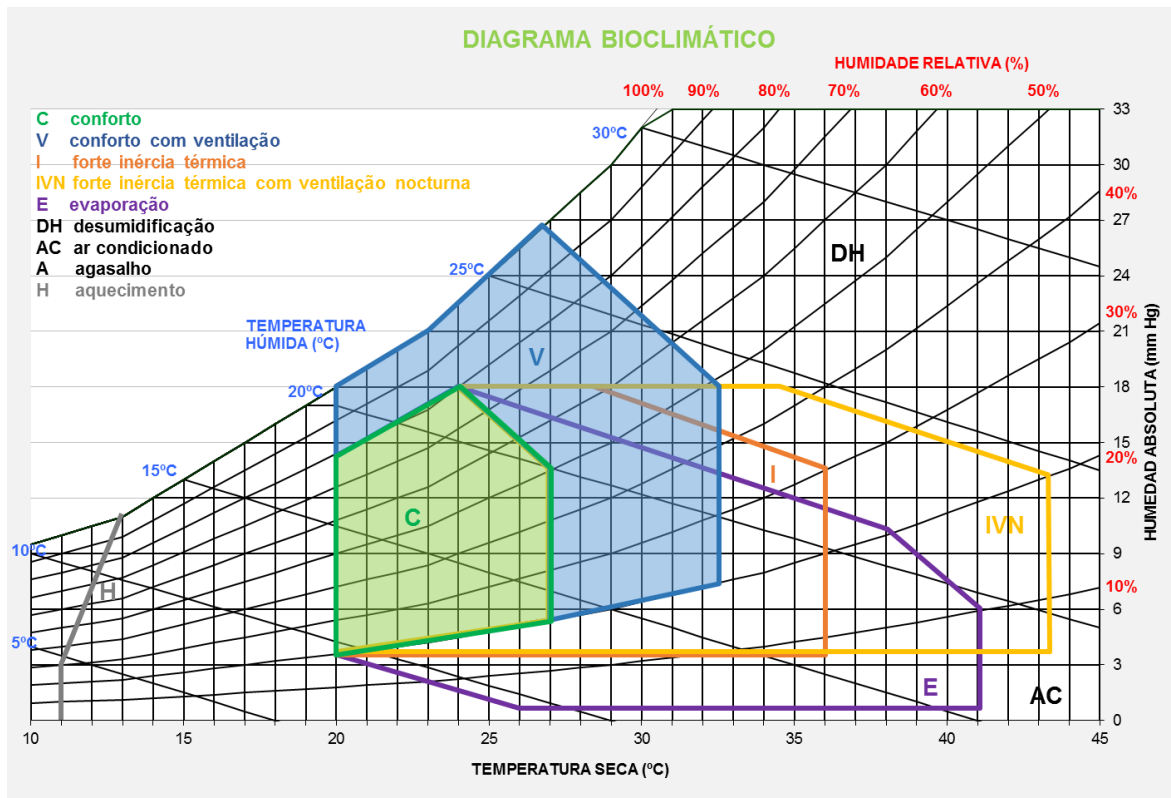
Agosto



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
8	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Agosto	24,5	30,5	64%	89%	27,5

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.		MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

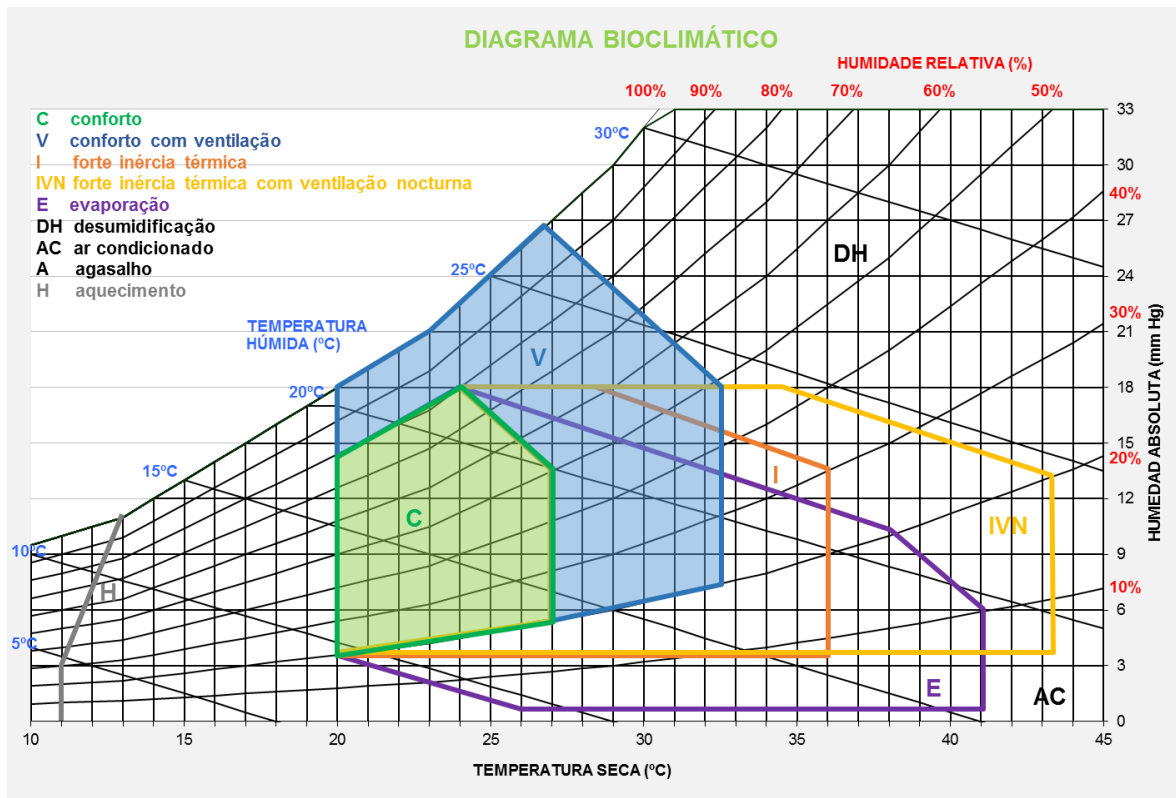
Setembro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
9	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Setembro	25,2	31,2	67%	92%	28,2

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.	MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

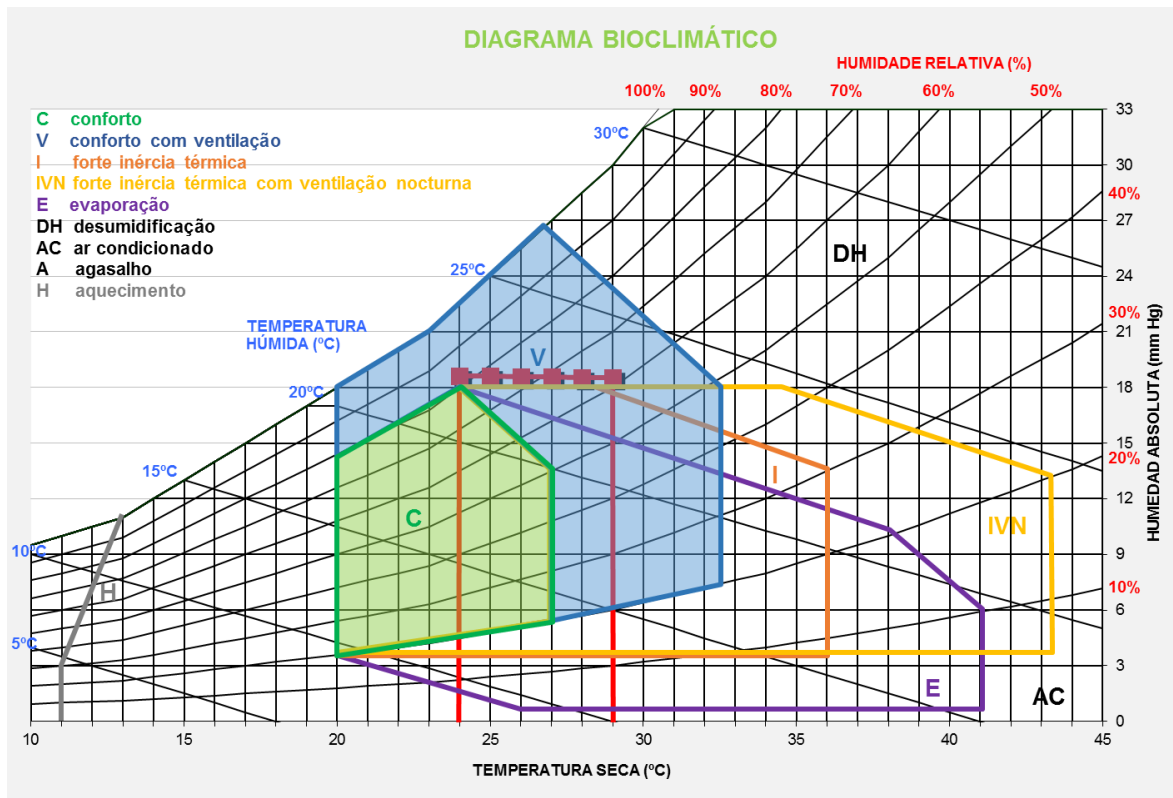
Outubro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
10	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Outubro	25,3	31,3	60%	85%	28,3

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.		MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

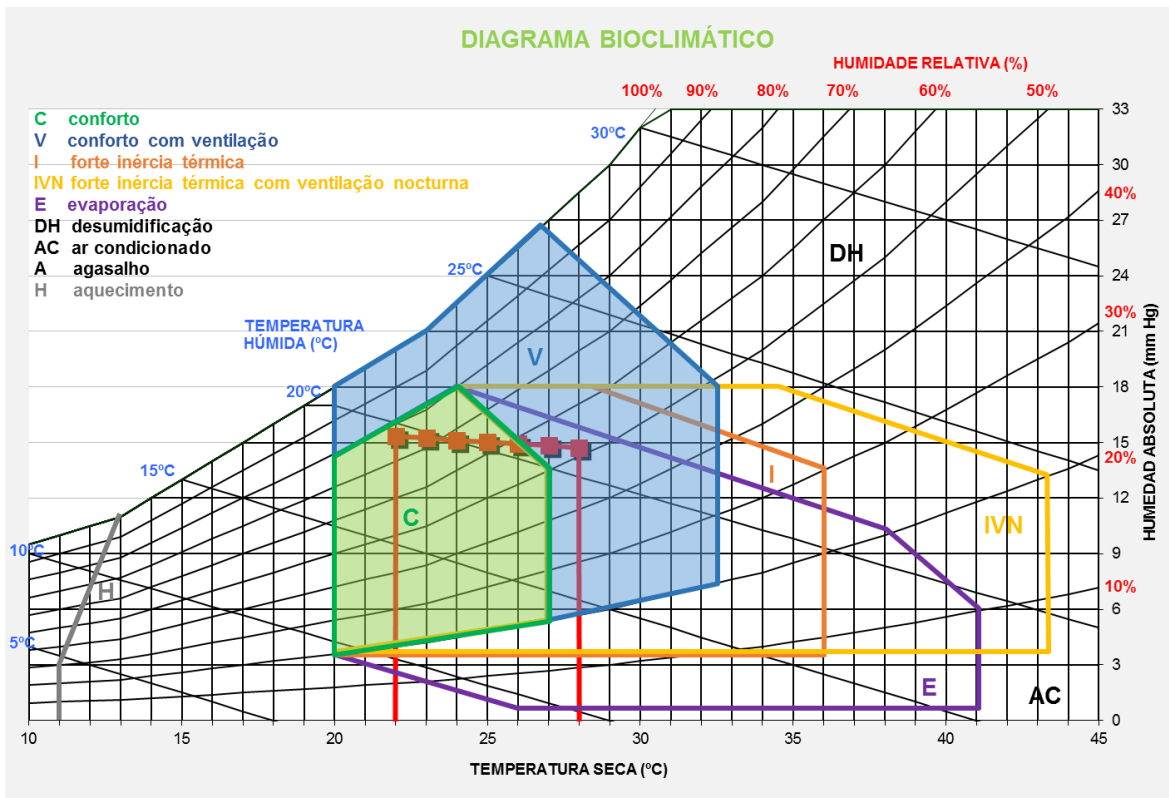
Novembro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
11	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Novembro	23,9	29,9	58%	83%	26,9

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

Dezembro



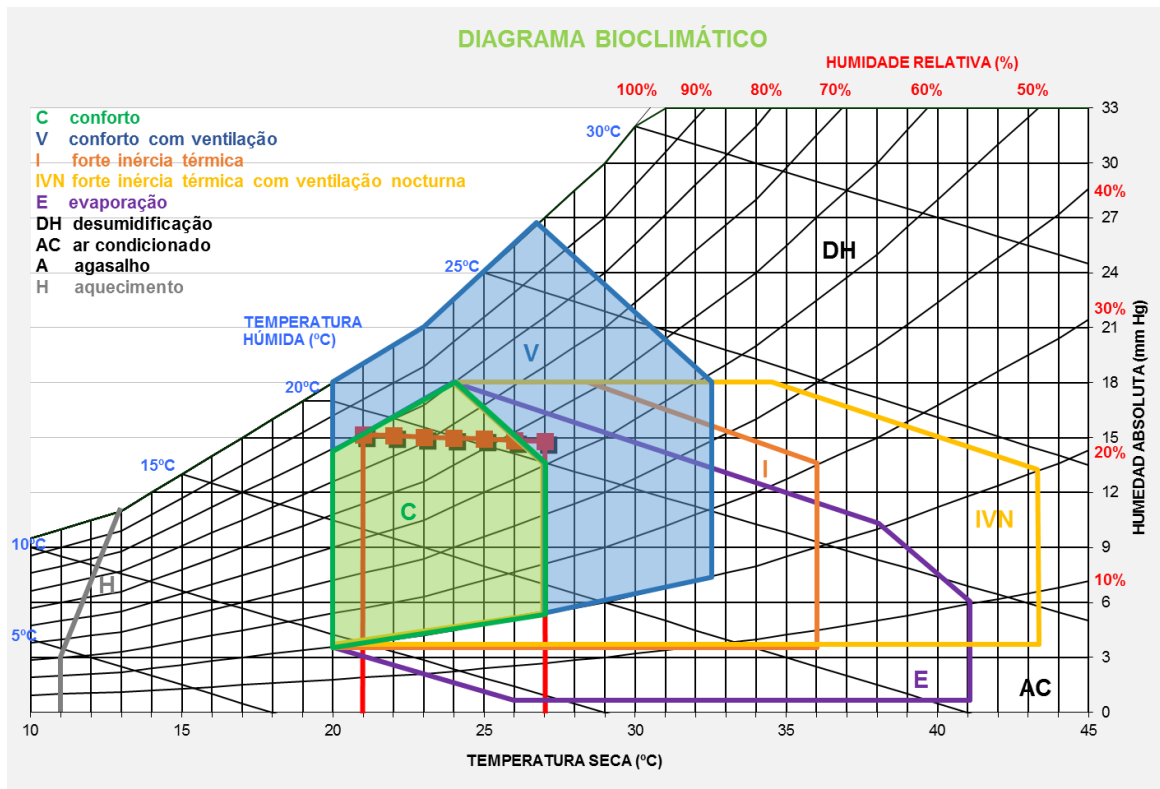
N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
12	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Dezembro	22,0	28,0	52%	77%	25,0

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

Anexo D

Resultados mensais da avaliação do conforto térmico no interior do edificado pelo método de Givoni – Caso 2

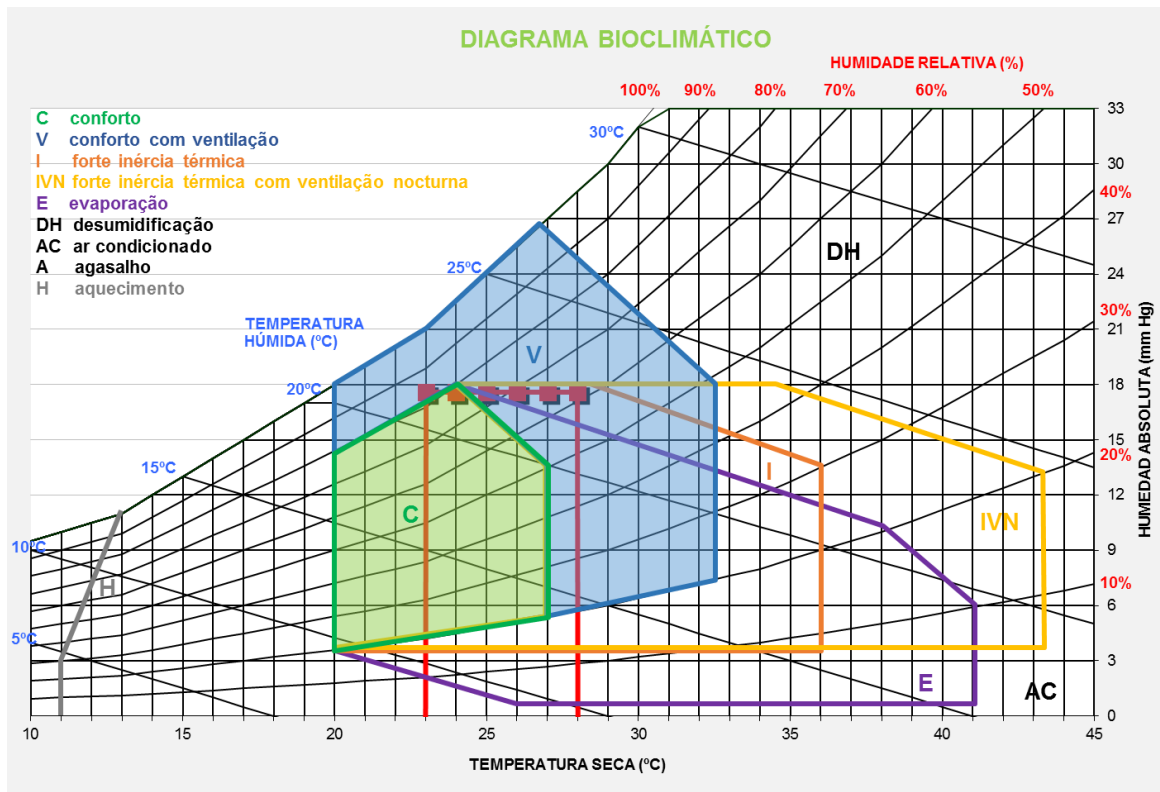
Janeiro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
13	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Janeiro	21,0	27,0	55%	80%	24,0

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

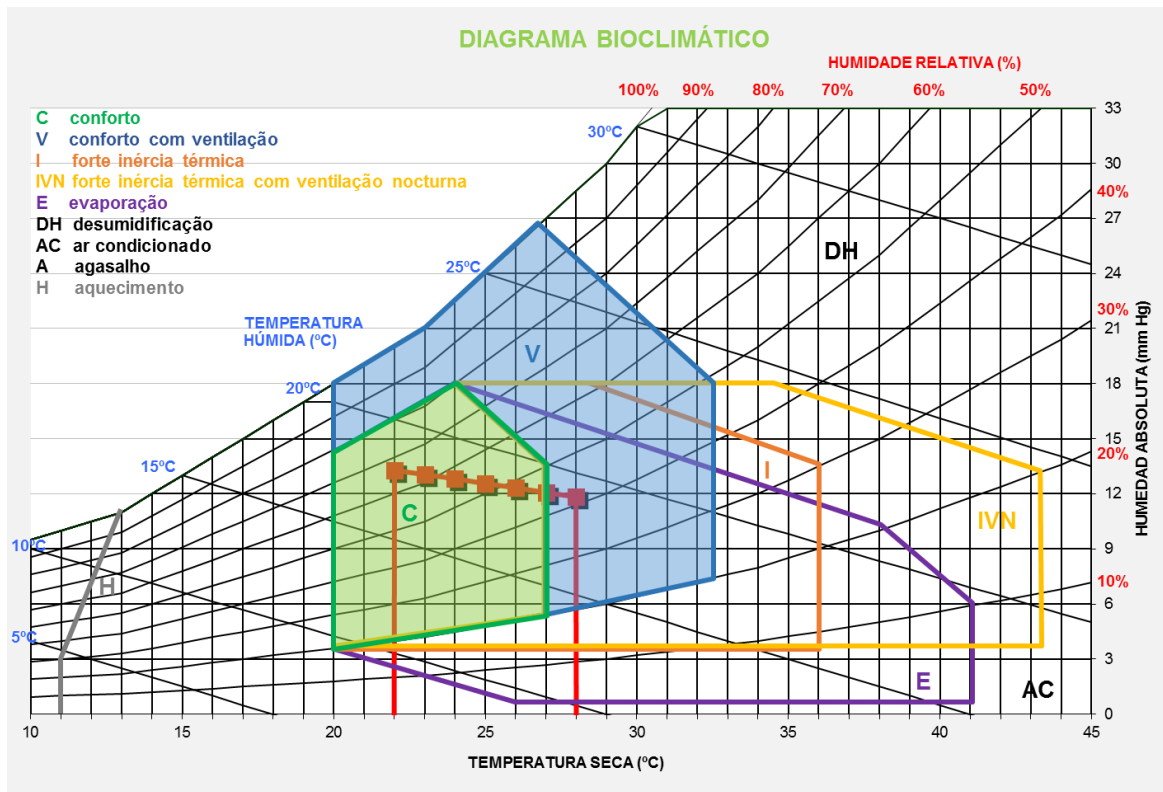
Fevereiro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
14	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Fevereiro	22,5	28,5	59%	84%	25,5

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

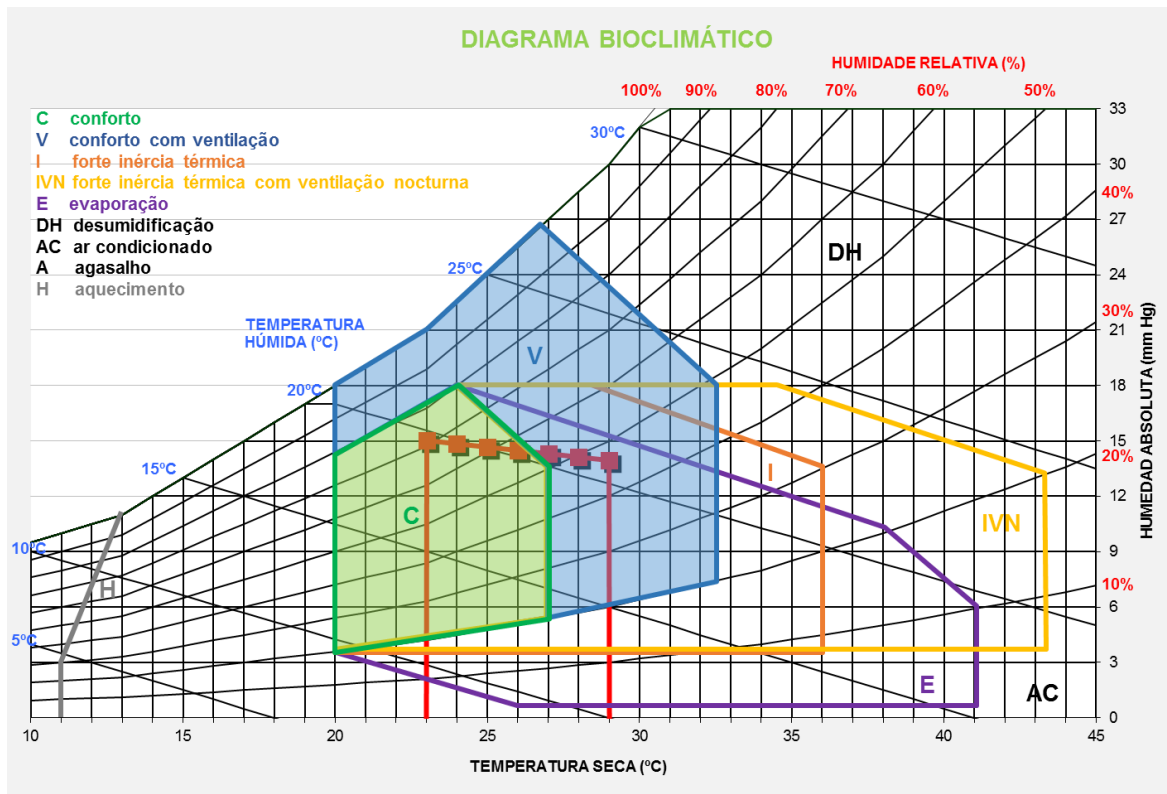
Março



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
15	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Março	22,0	28,0	42%	67%	25,0

TIPO A PROPÓSITO DE		RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL		Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

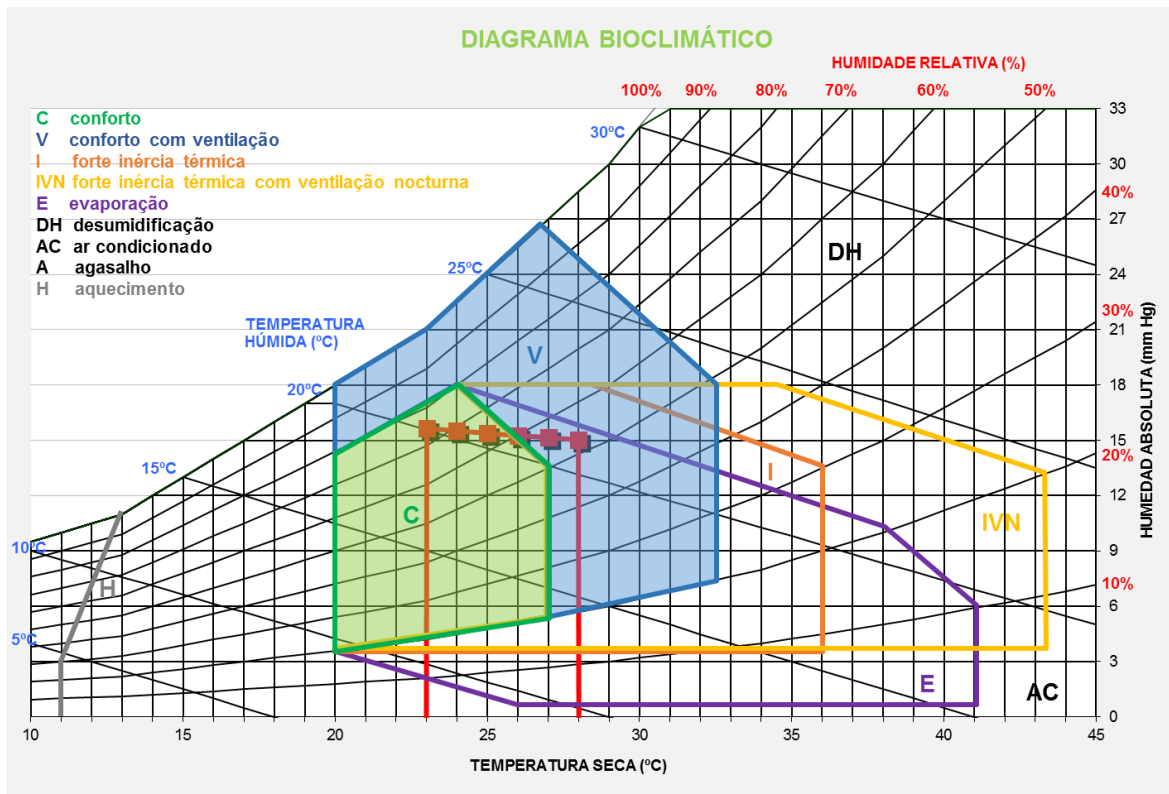
Abril



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
16	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Abril	23,0	29,0	47%	72%	26,0

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX na zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

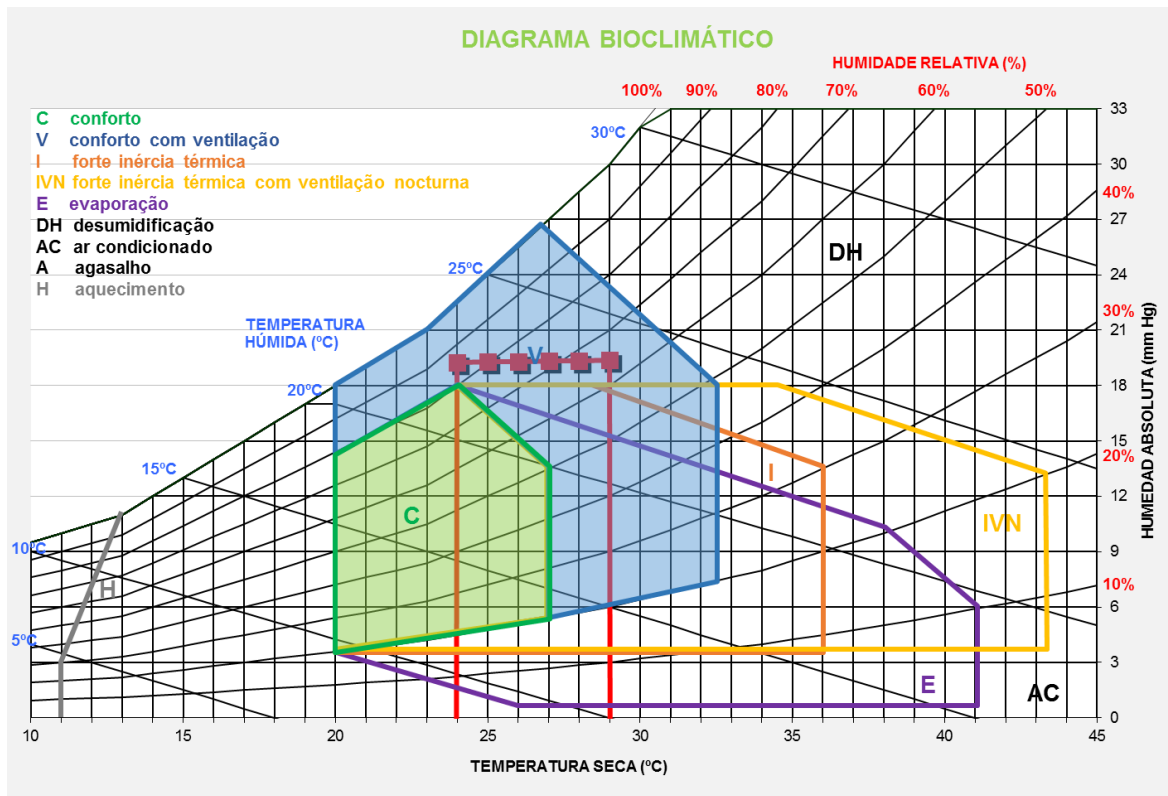
Maio



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
17	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Maio	22,5	28,5	50%	75%	25,5

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
C A L O R	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
F R Í O	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

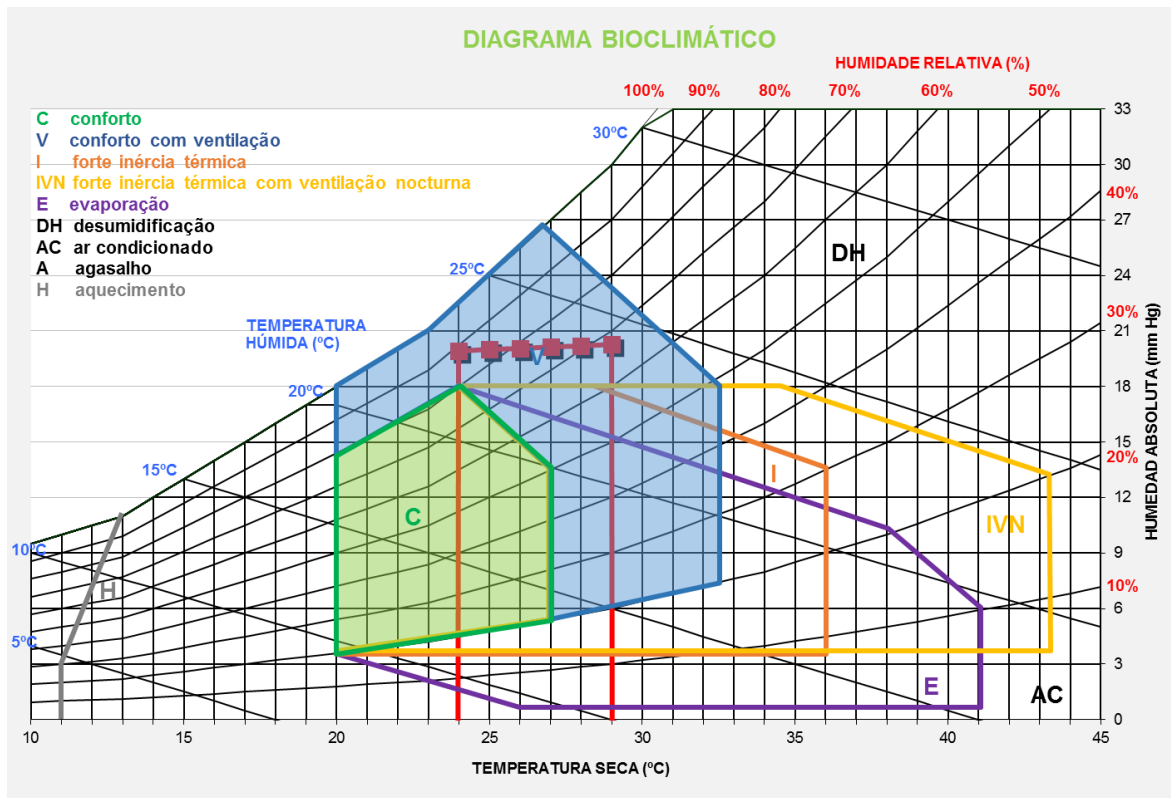
Junho



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
18	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Junho	23,8	29,8	61%	86%	26,8

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
C A L O R	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
F R Í O	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

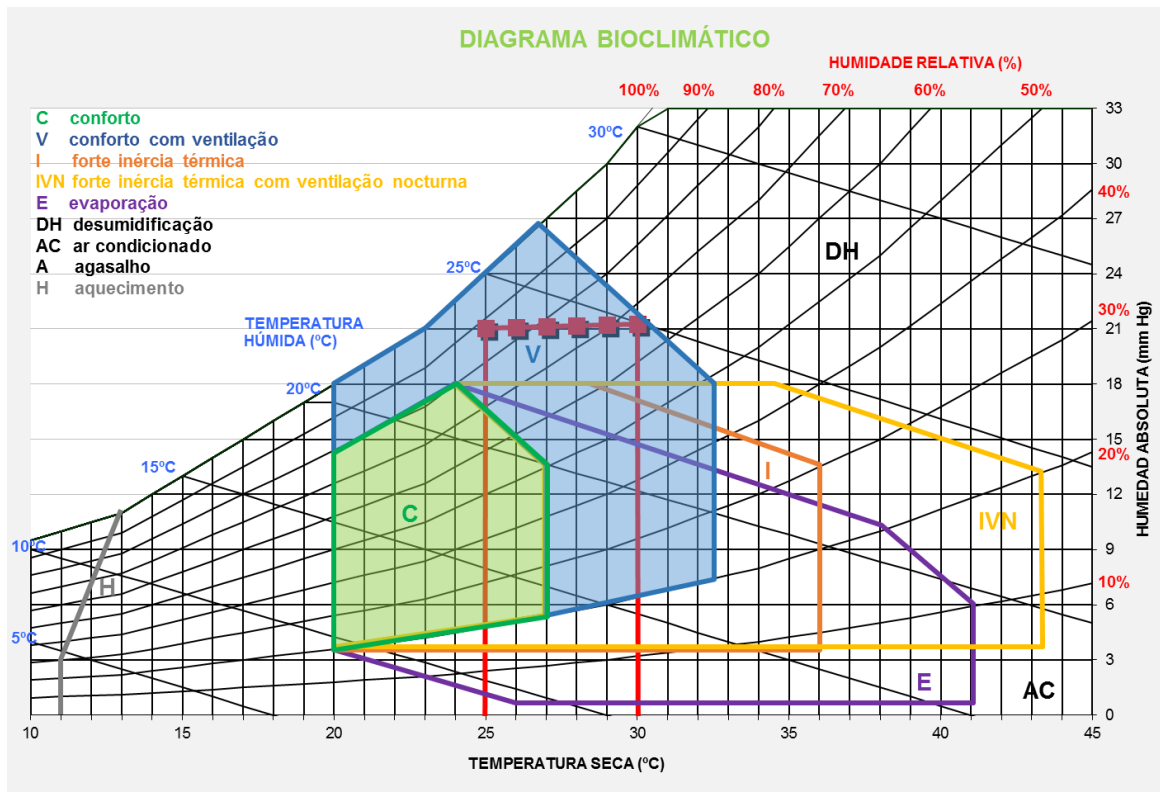
Julho



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
19	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Julho	23,6	29,6	64%	89%	26,6

TIPO		PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

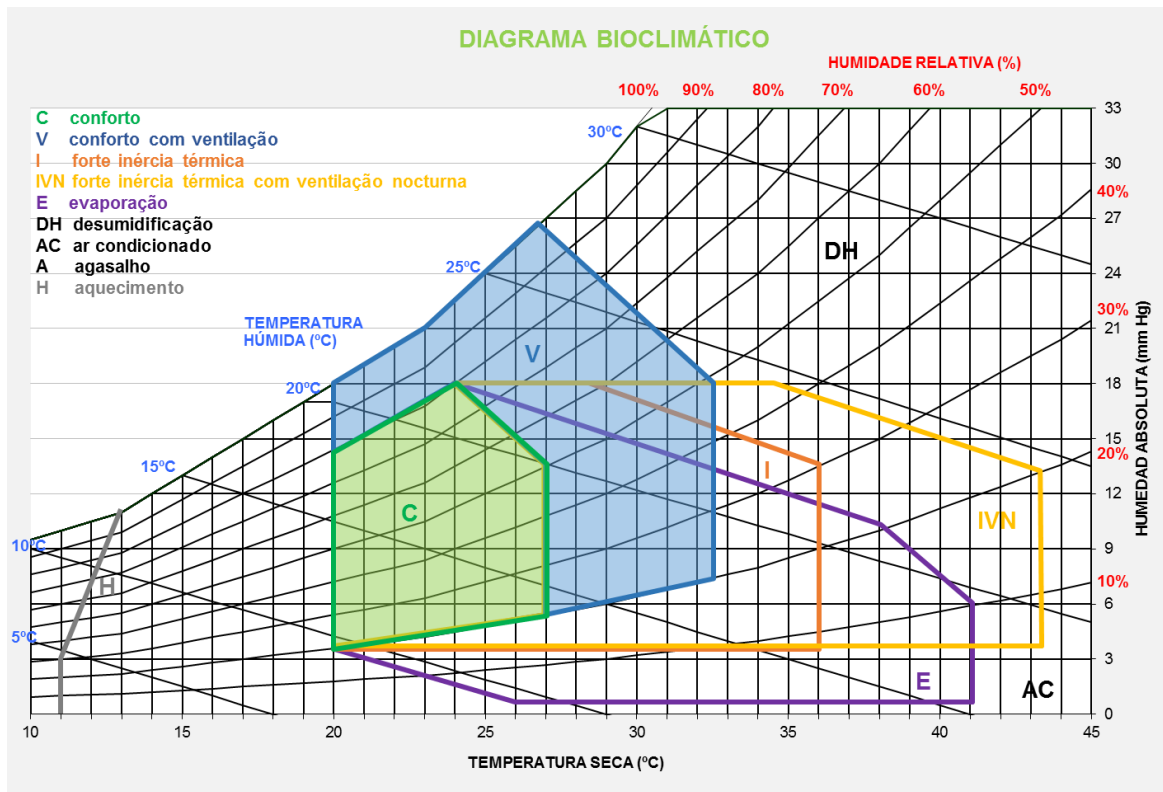
Agosto



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
20	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Agosto	24,9	30,9	63%	88%	27,9

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.	MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

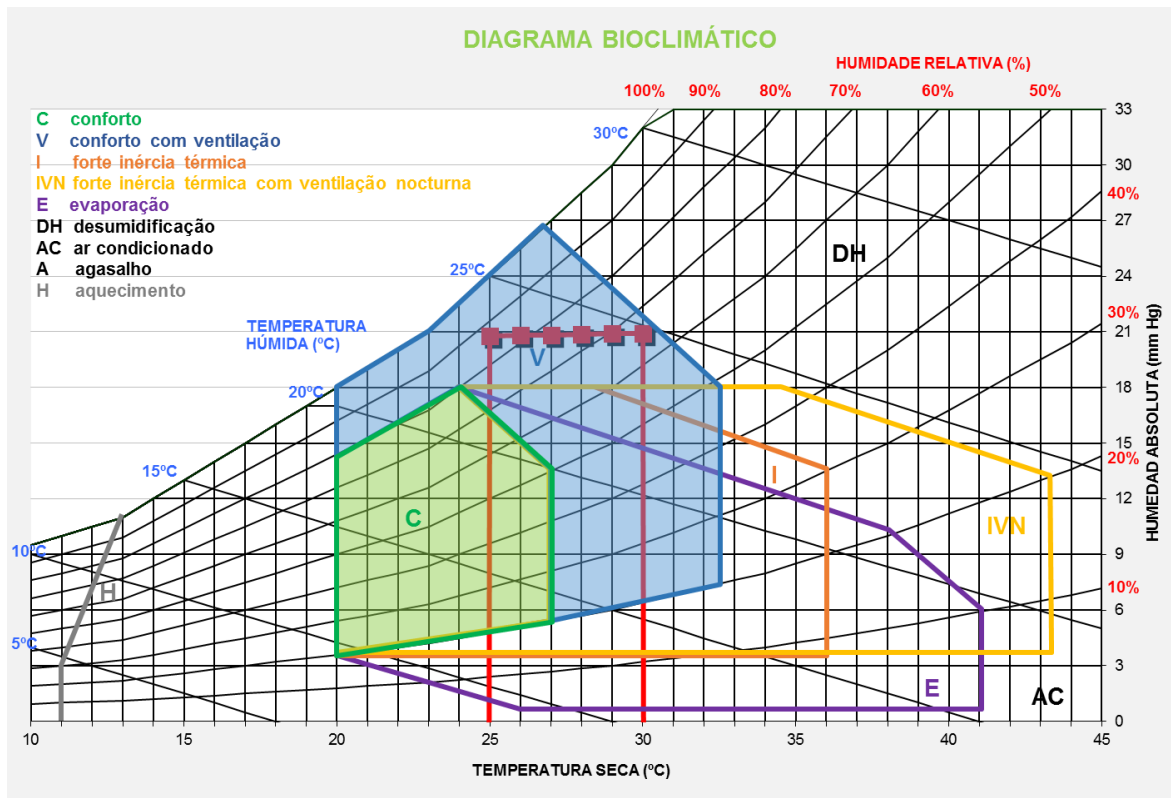
Setembro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
21	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Setembro	25,2	31,2	67%	92%	28,2

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.	MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

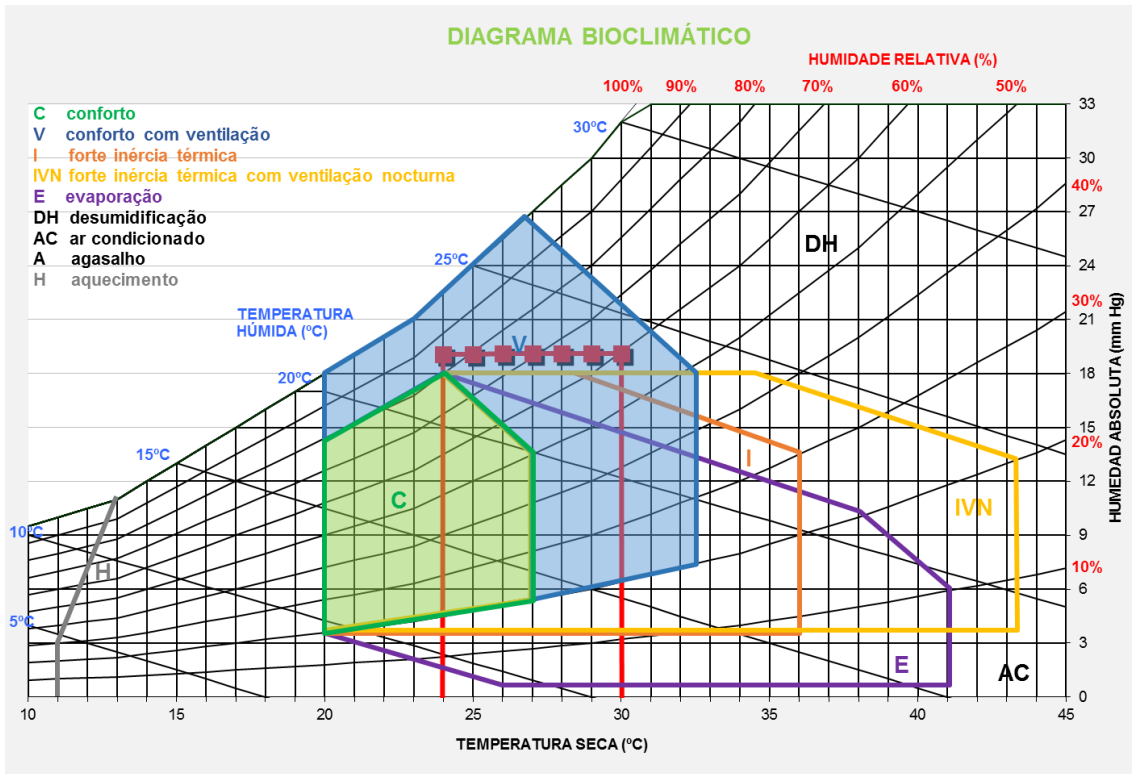
Outubro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
22	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Outubro	24,9	30,9	62%	87%	27,9

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.	MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

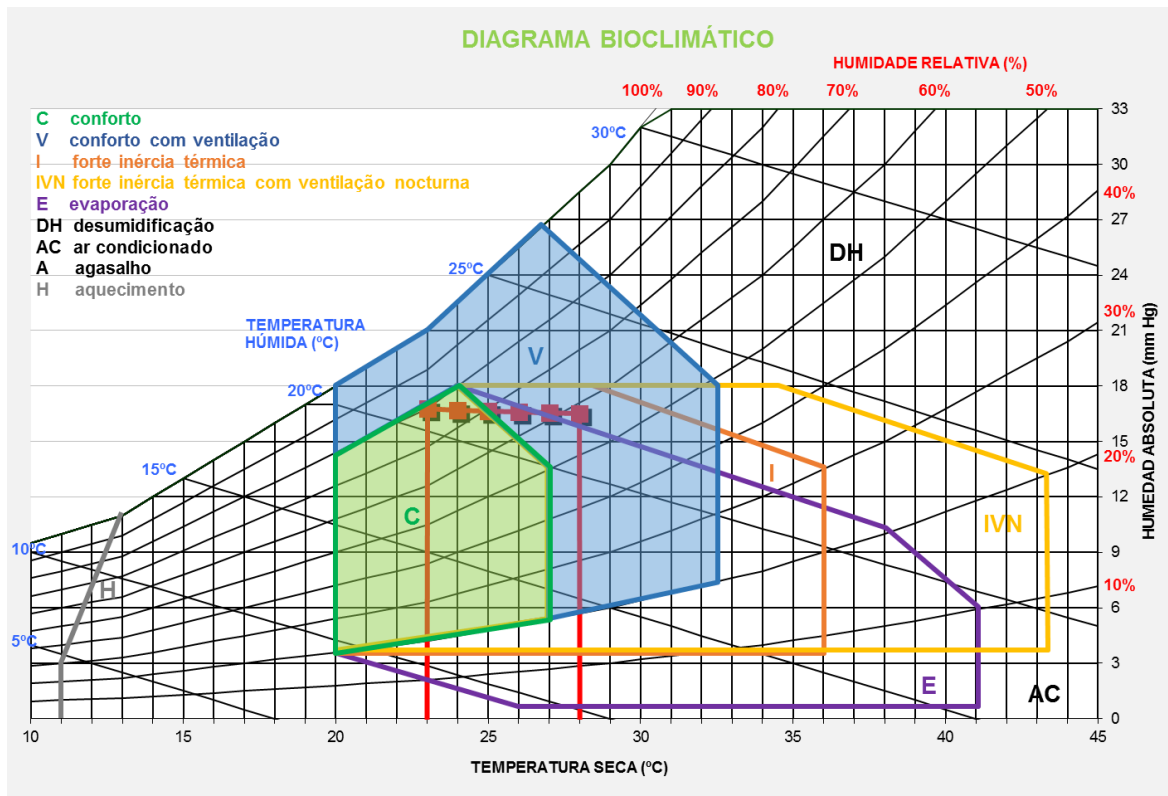
Novembro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
23	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Novembro	24,0	30,0	60%	85%	27,0

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
CALOR	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
FRIÓ	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

Dezembro



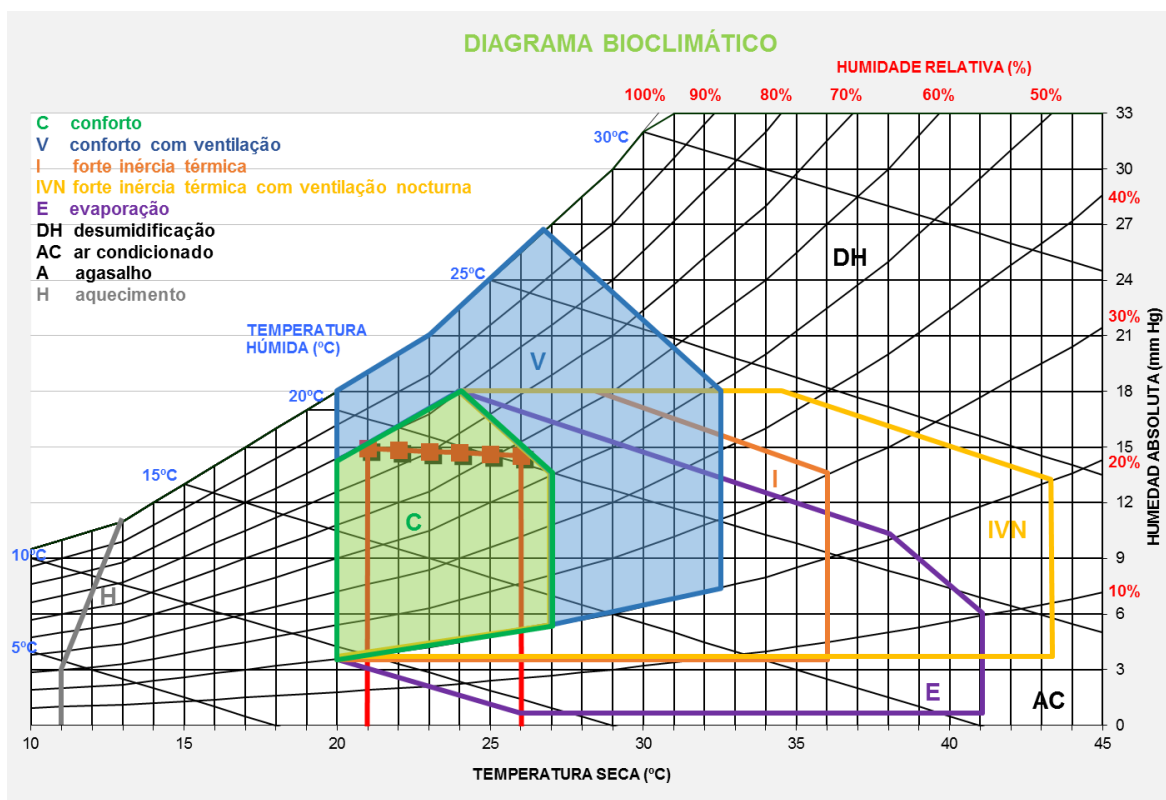
N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
24	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Dezembro	22,5	28,5	55%	80%	25,5

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

Anexo E

Resultados mensais da avaliação do conforto térmico no interior do edificado pelo método de Givoni – Caso 3

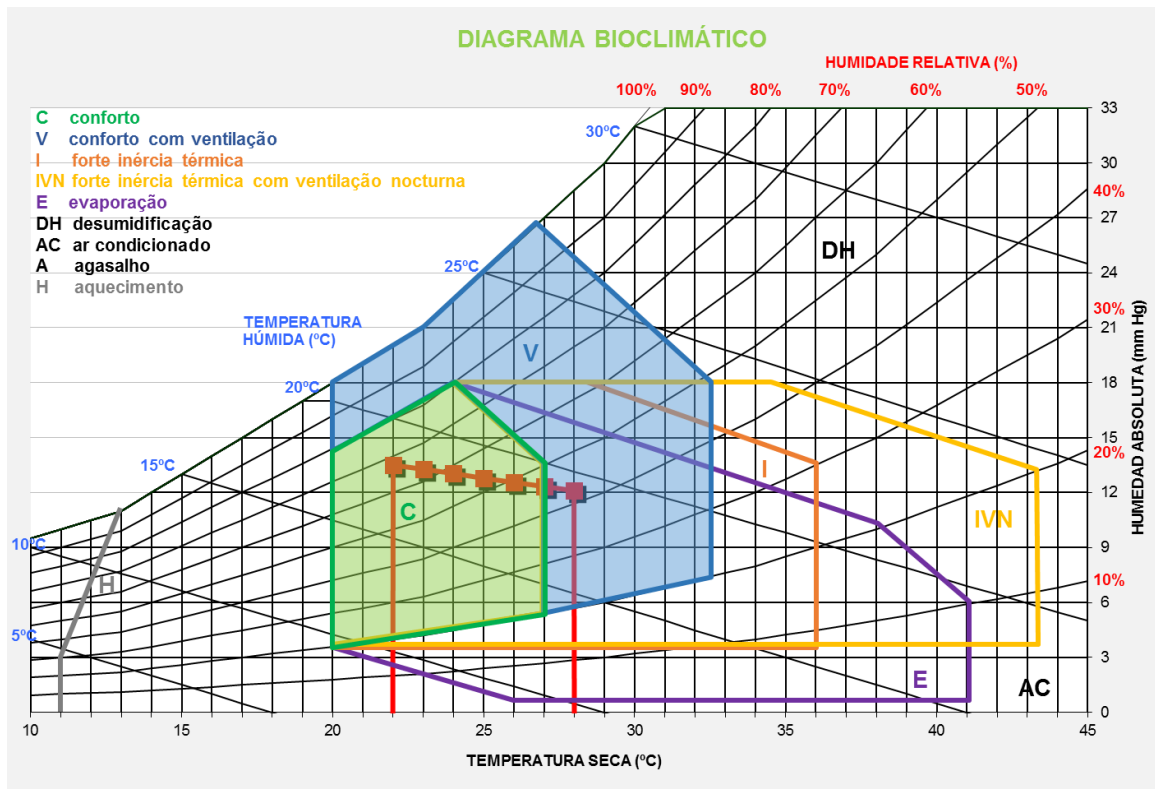
Janeiro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
25	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Janeiro	20,6	26,6	54%	79%	23,6

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX na zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

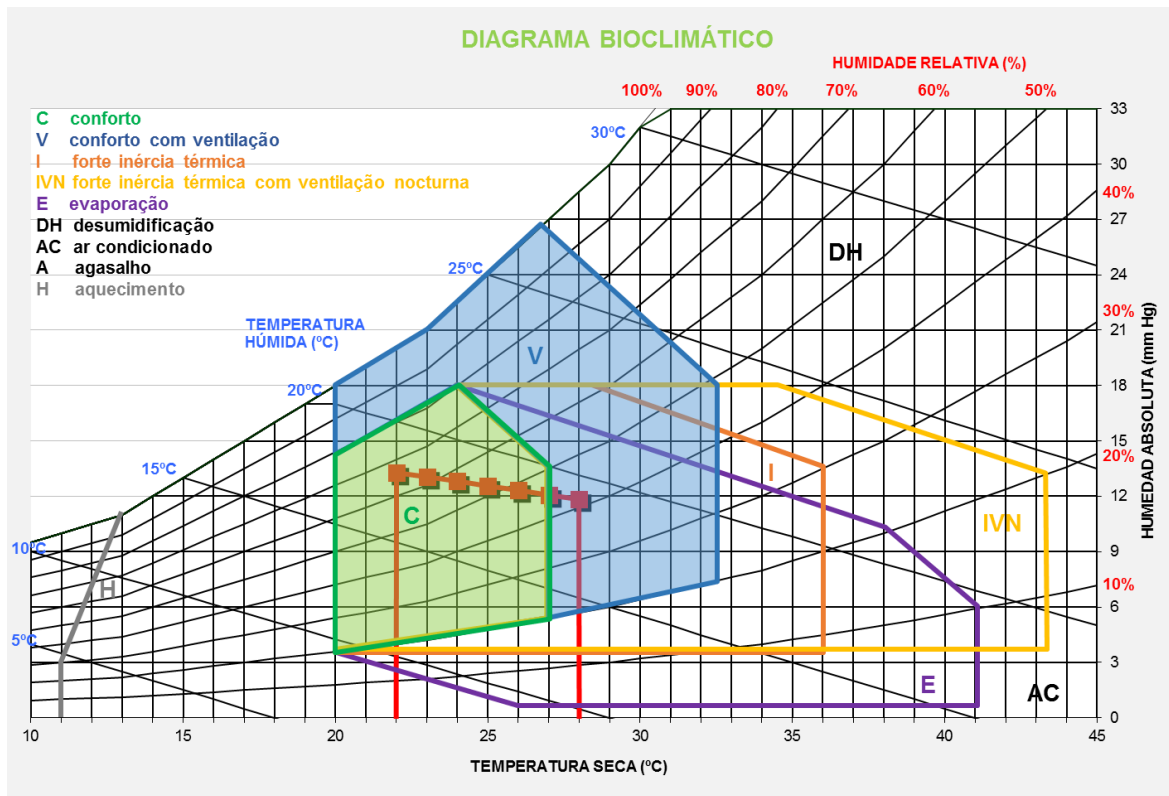
Fevereiro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
26	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Fevereiro	22,0	28,0	43%	68%	25,0

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

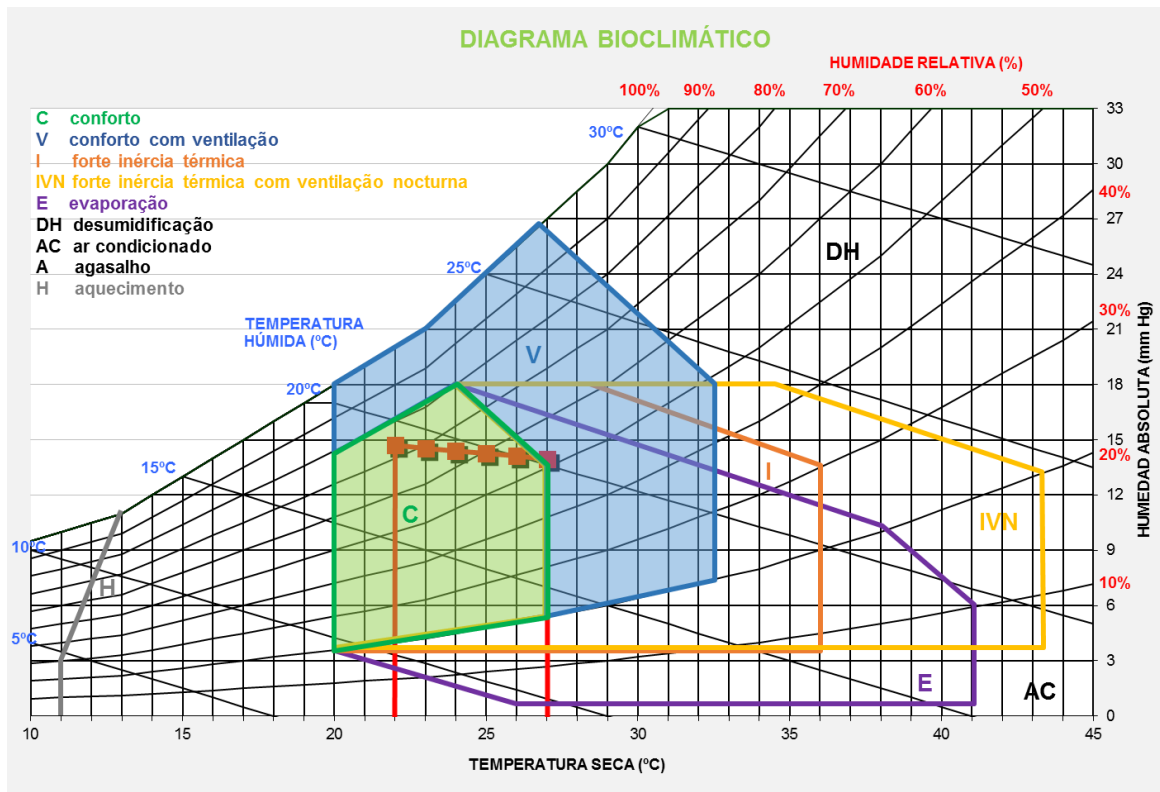
Março



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
27	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Março	22,0	28,0	42%	67%	25,0

TIPO A PROPÓSITO DE		RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL		Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

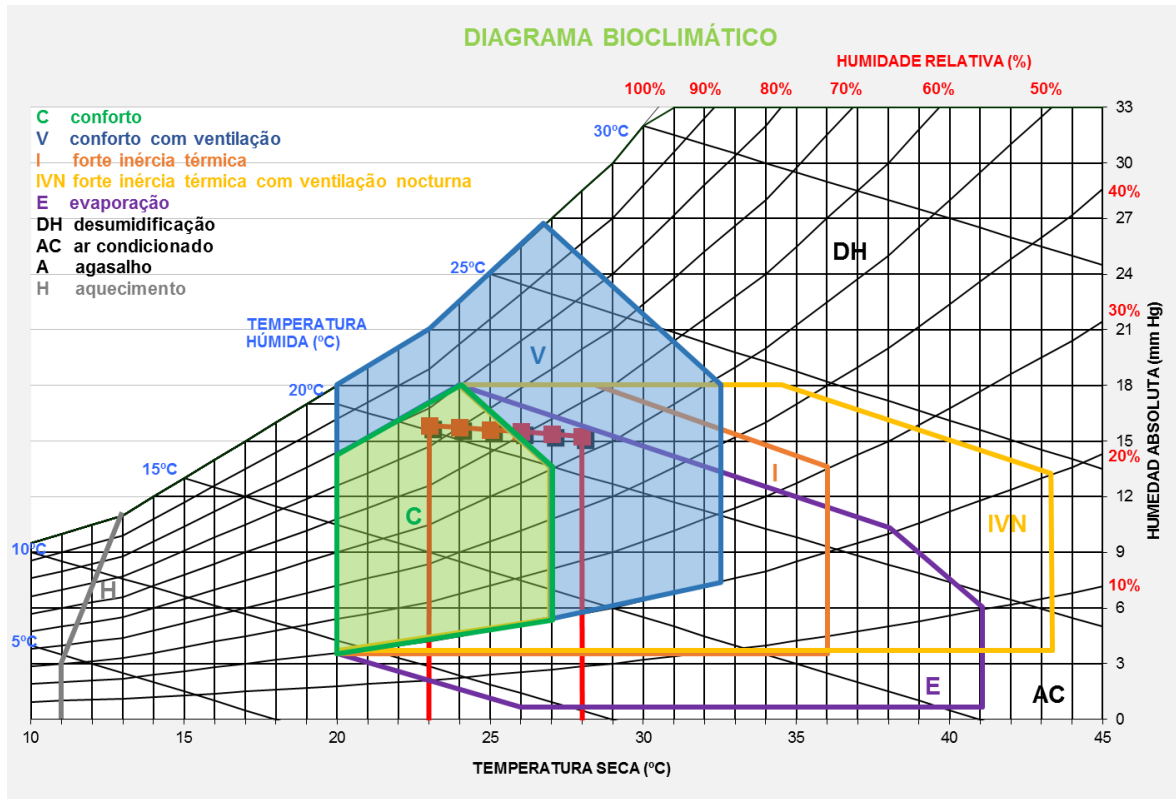
Abril



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
28	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Abril	21,9	27,9	49%	74%	24,9

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

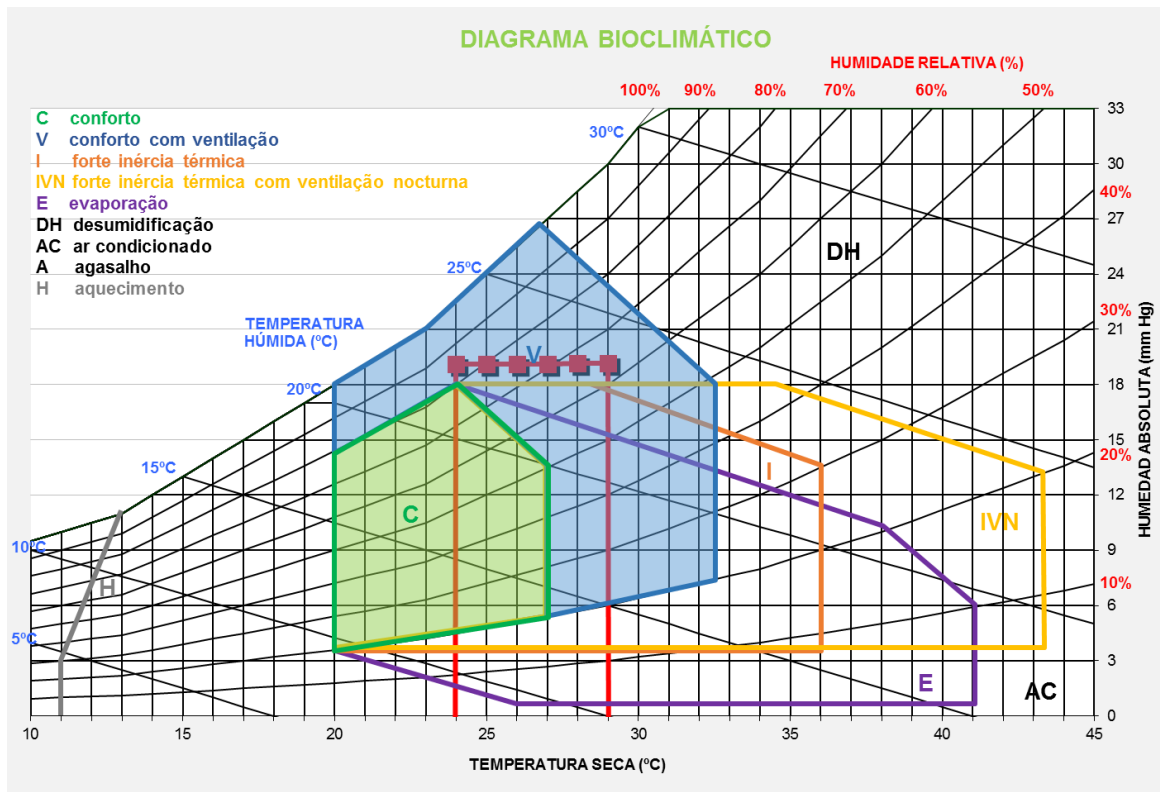
Maio



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
29	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Maio	22,5	28,5	51%	76%	25,5

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃOA RTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COMINERCIA TÉRMICA		

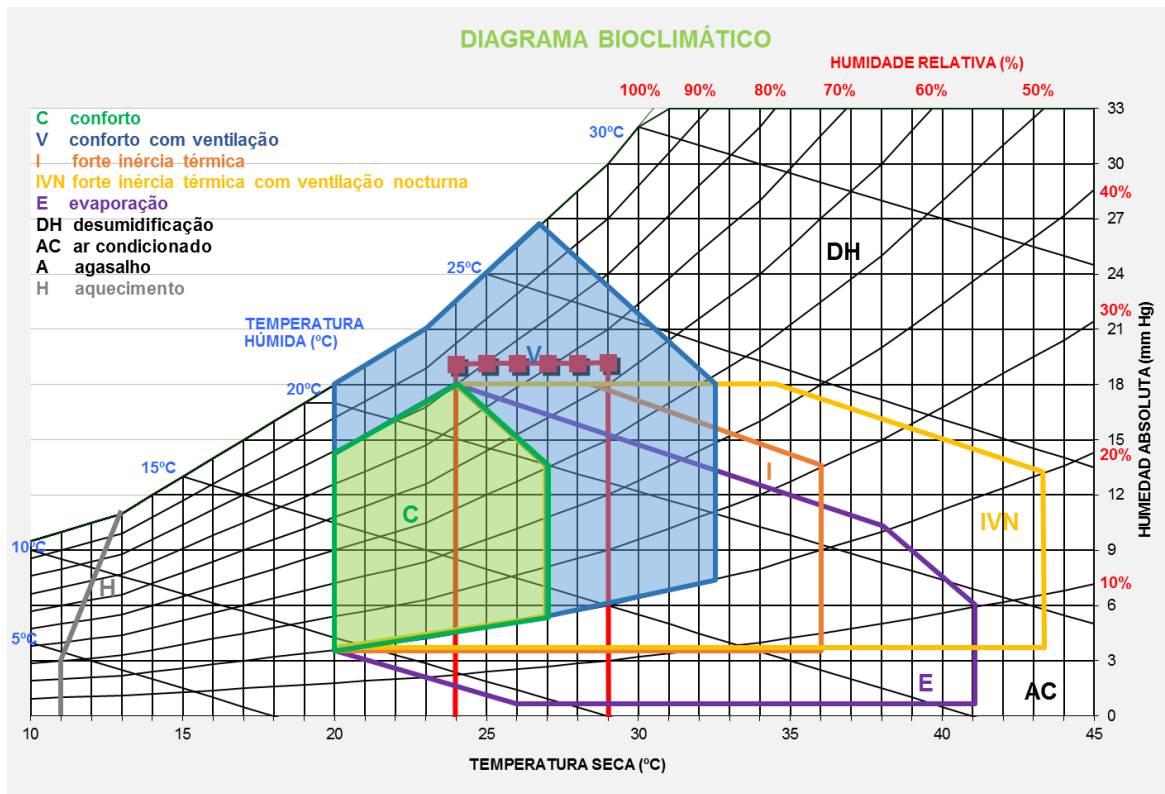
Junho



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
30	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Junho	23,5	29,5	60%	85%	26,5

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
C A L O R	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
F R Í O	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

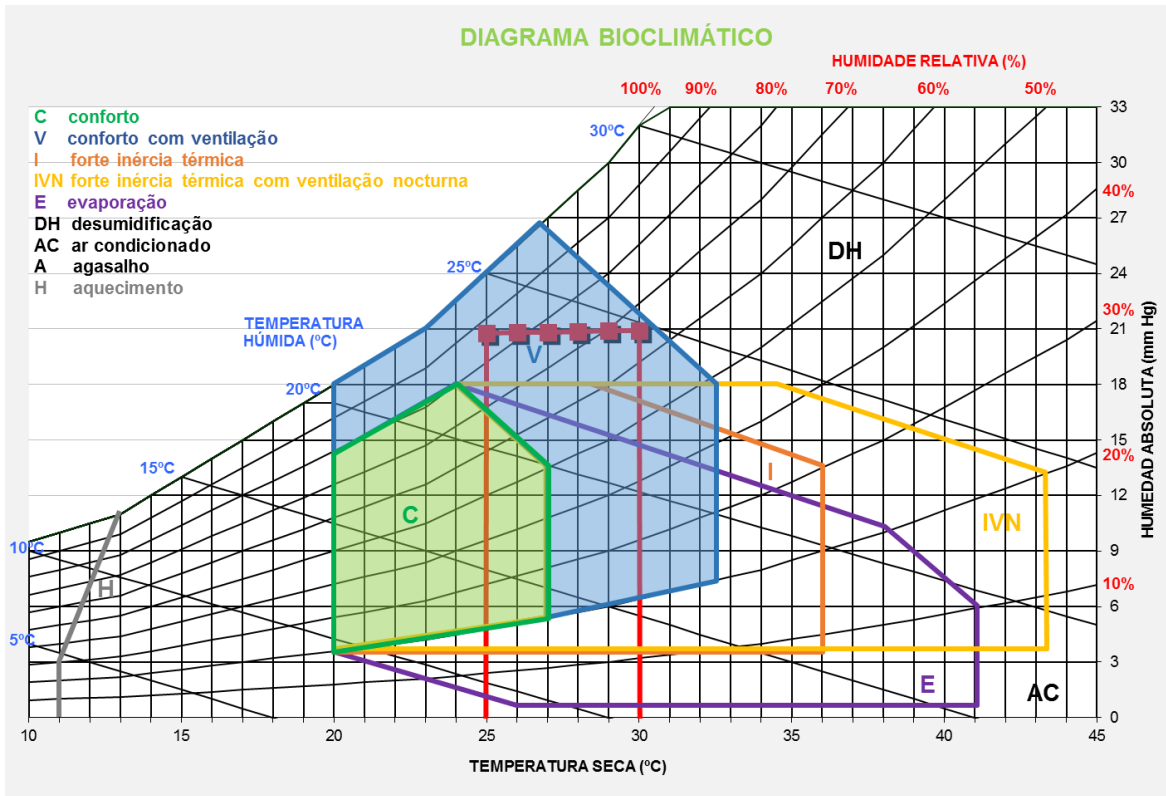
Julho



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
31	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Julho	23,6	29,6	60%	85%	26,6

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

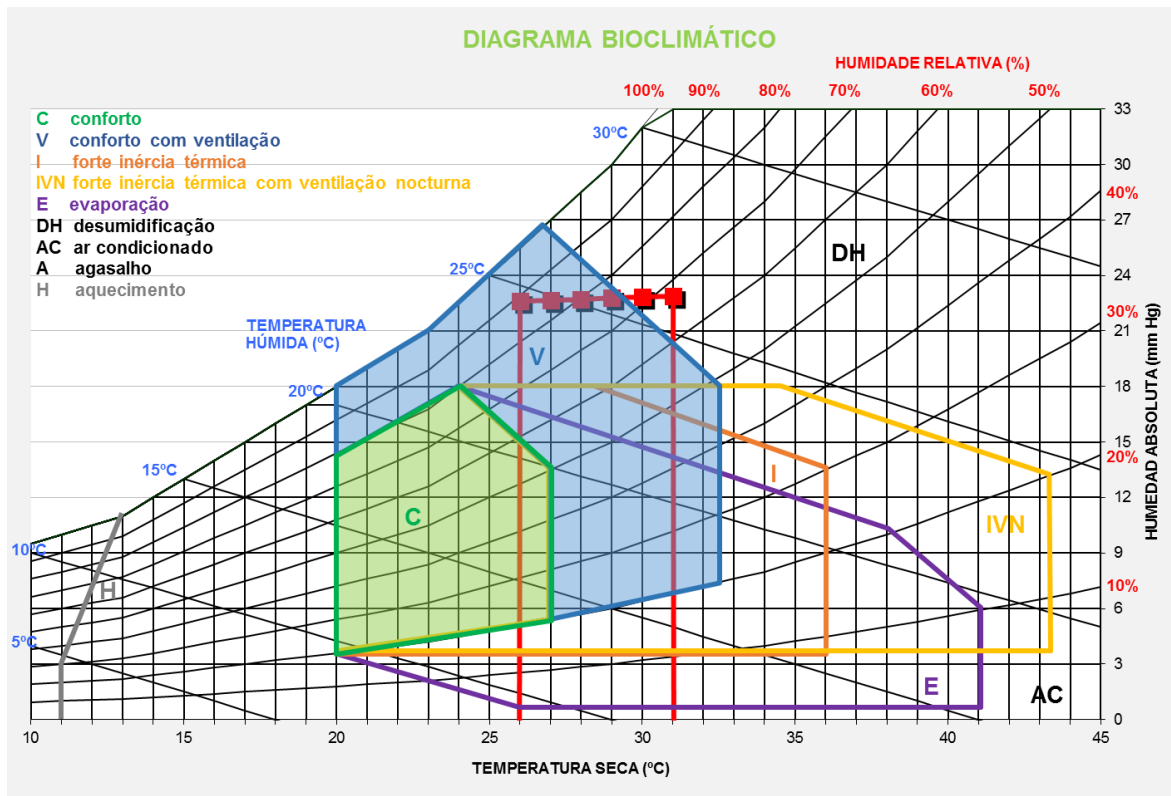
Agosto



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
32	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Agosto	24,5	30,5	62%	87%	27,5

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
C A L O R	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.	MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

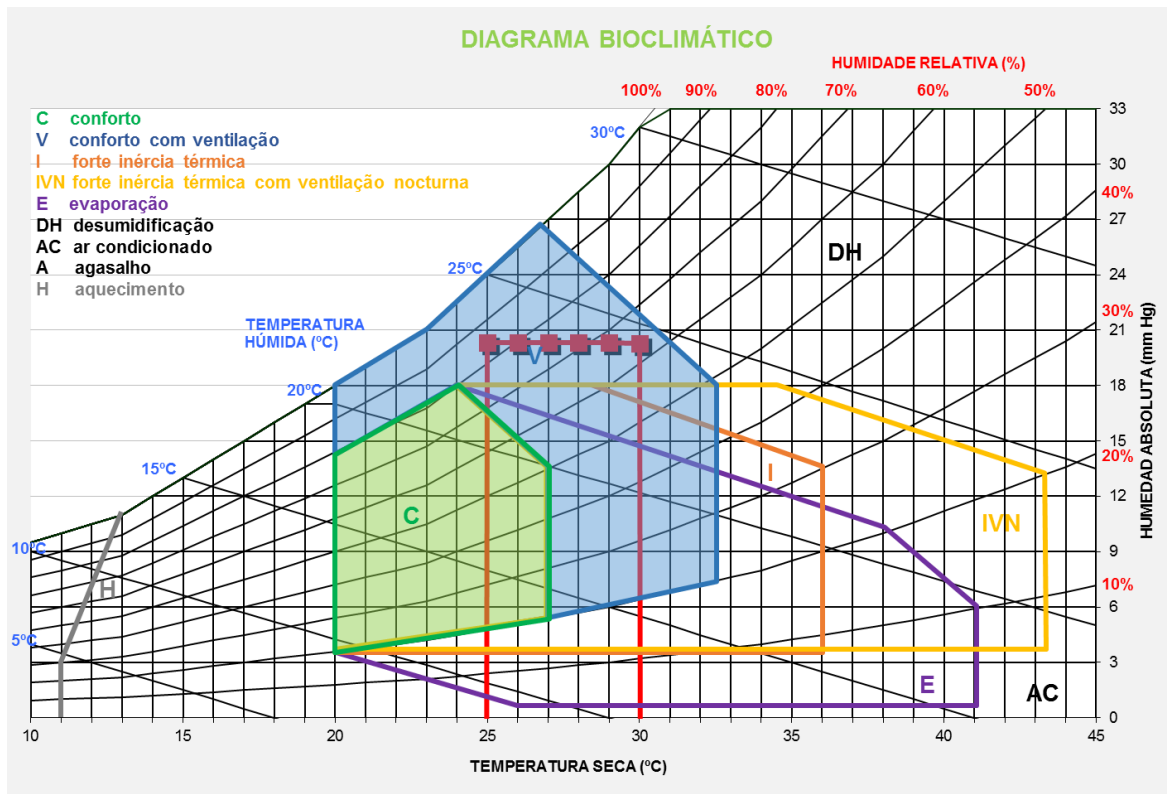
Setembro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
33	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Setembro	25,5	31,5	64%	89%	28,5

TIPO		PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.	MAX na zona DH	
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

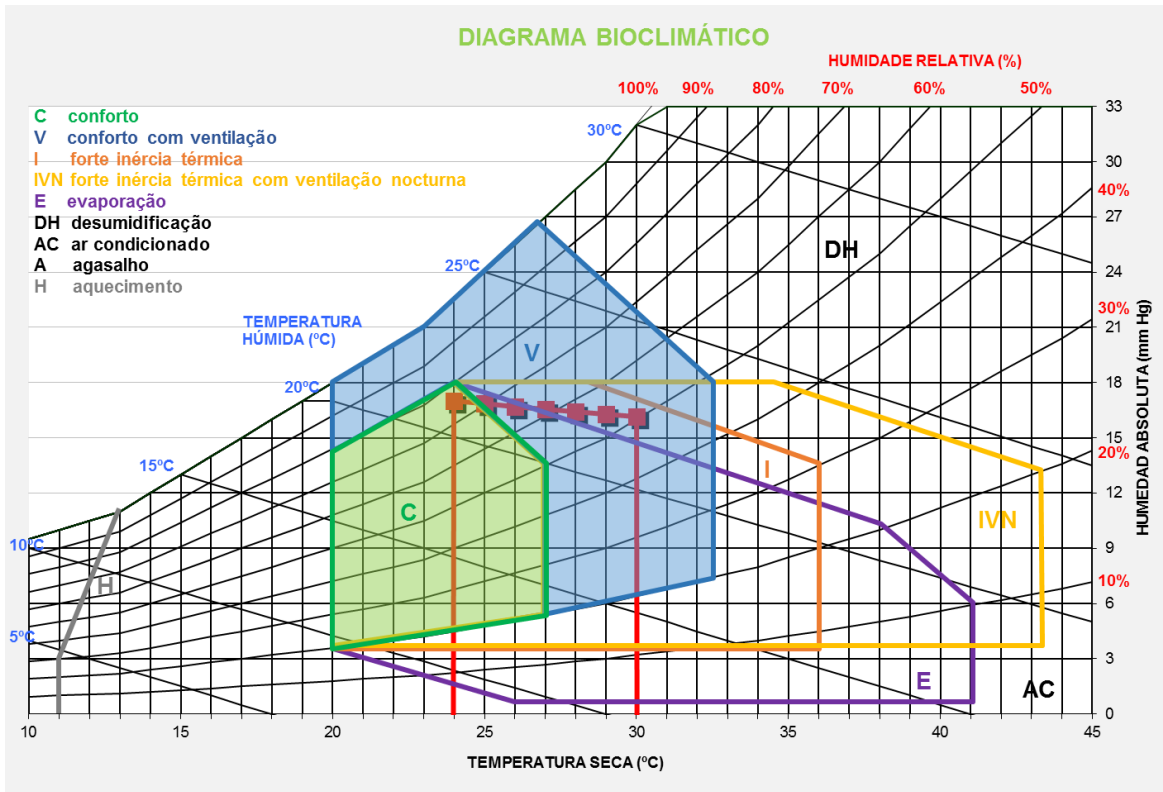
Outubro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
34	Tropical húmido	Savana húmida	Praia (Cabo Verde)	Outubro	24,9	30,9	60%	85%	27,9

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
C A L O R	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA		
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL	É necessária uma ventilação artificial com desumidificação do ar.	MAX na zona DH
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

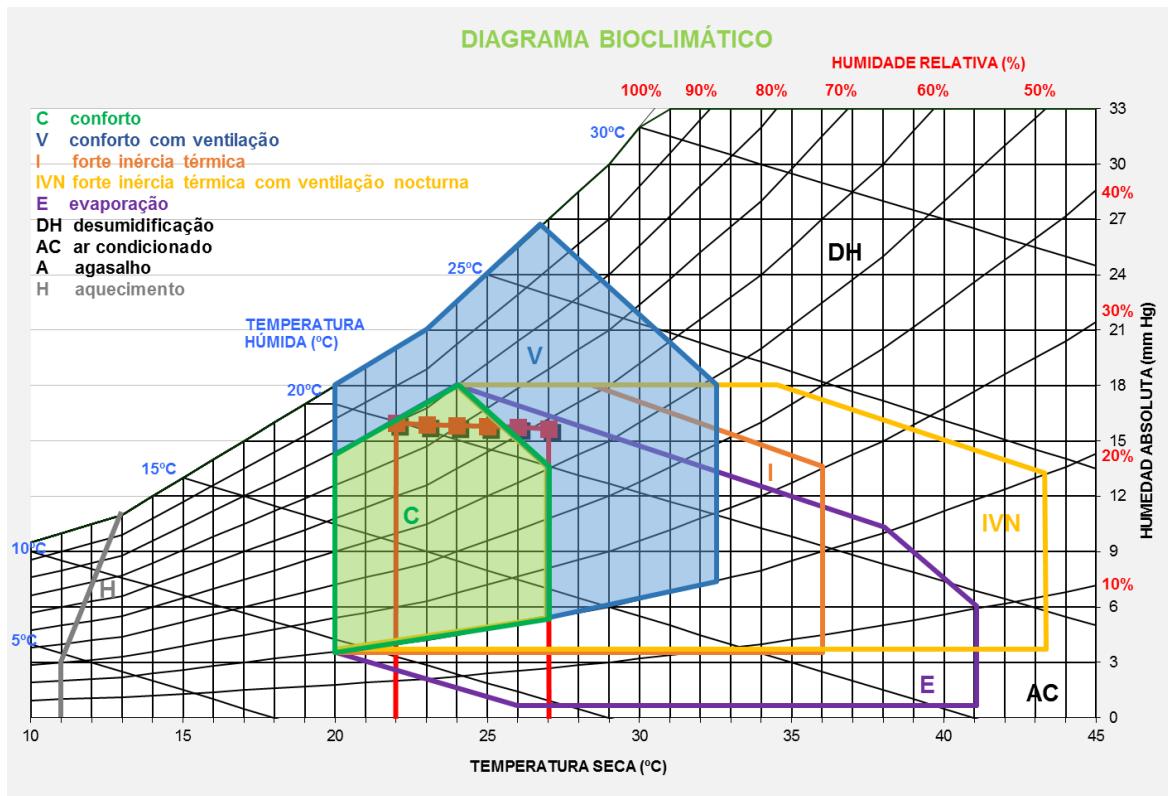
Novembro



N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
35	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Novembro	24,0	30,0	51%	76%	27,0

TIPO		A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
GENERAL			Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
C A L O R	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.		MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA			
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO			
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO			
	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL			
F R Í O	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA			
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA			

Dezembro



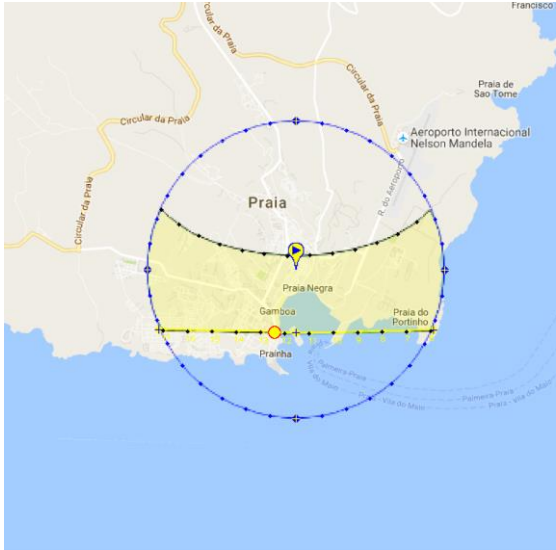
N	Categoria	Subcategoria	Lugar	Mes	Tmin	Tmax	Hmin	Hmax	Tmed
36	Tropical seco	Savana seca	Praia (Cabo Verde)	Dezembro	21,6	27,6	55%	80%	24,6

TIPO	A PROPÓSITO DE	RESULTADO	CAUSA (VER DIAGRAMA)
C A L O R	GENERAL	Considera-se um sujeito aclimatado ao local, em repouso ou a realizar uma actividade sedentária. A menos que se indique o contrário numa zona fria, o sujeito usa uma idumentária ligeira de verão. Numa zona de calor, consideram-se habitações bem protegidas da radiação solar.	
	CONFORT SEM INERCIA TÉRMICA	Com a ajuda de ventilação, é possível um conforto permanente no interior da habitação sem necessidade de inércia térmica.	MIN e MAX nq zona C+V
	INERCIA TÉRMICA	É possível um conforto permanente no interior da habitação com forte inércia térmica.	MED na zona C e MAX na zona I - C
	INERCIA TÉRMICA + VENTILAÇÃO		
	REFRIGERAÇÃO NATURAL POR EVAPORAÇÃO		
F R Í O	CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL		
	HABITAÇÃO SEM INERCIA TÉRMICA		
	HABITAÇÃO COM INERCIA TÉRMICA		

Anexo F

Trajecto diário do Sol ao longo do ano em Praia

Janeiro



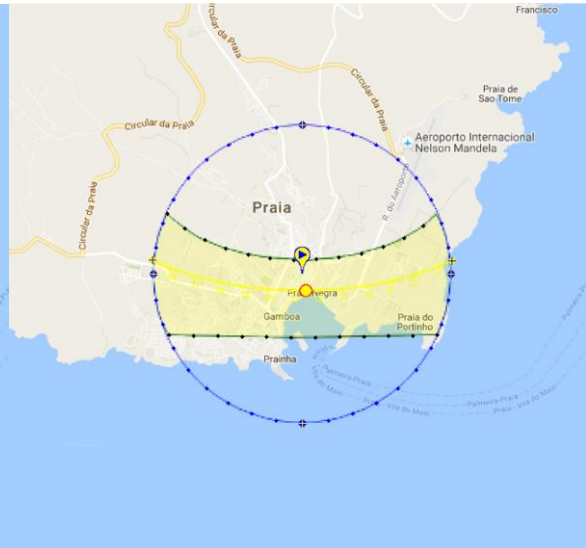
Fevereiro



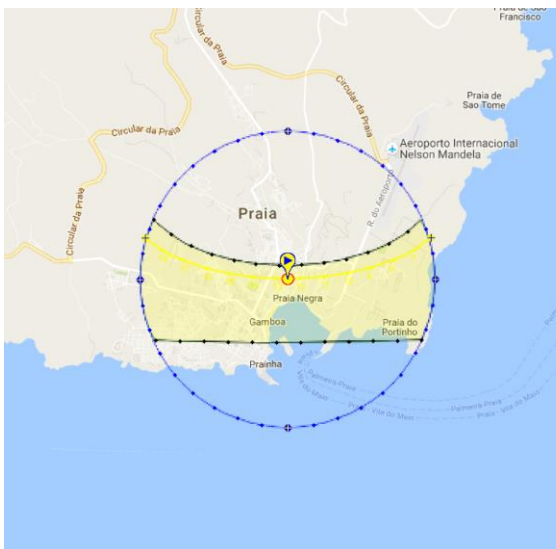
Março



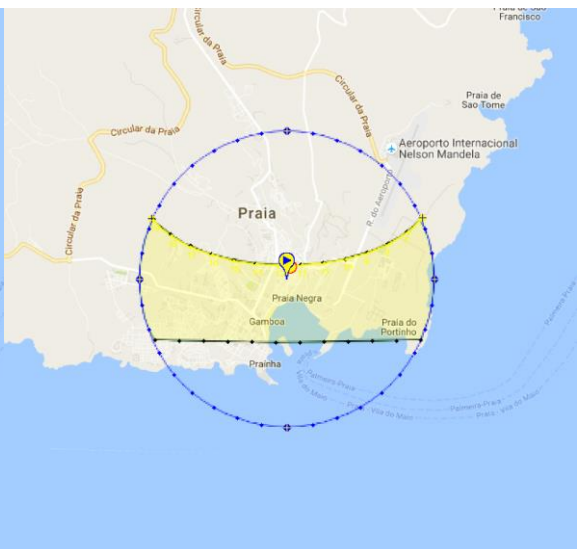
Abril



Maio



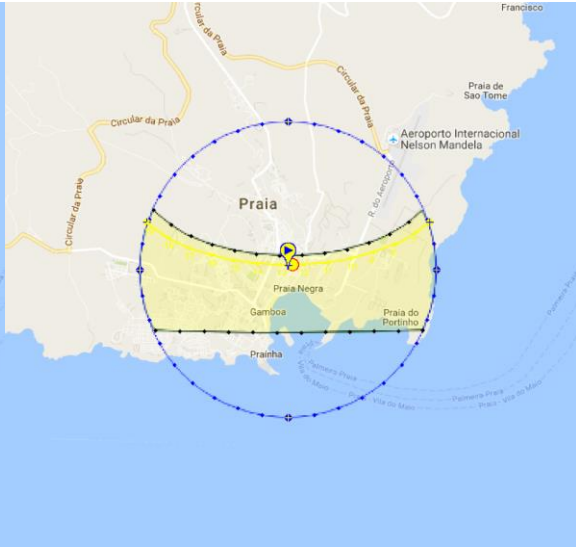
Junho



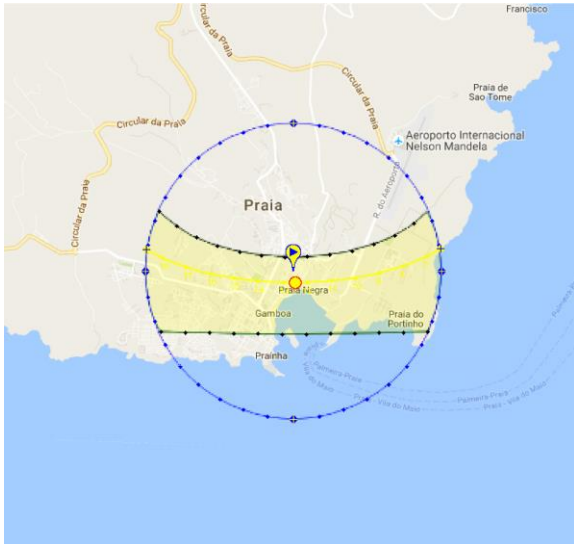
Julho



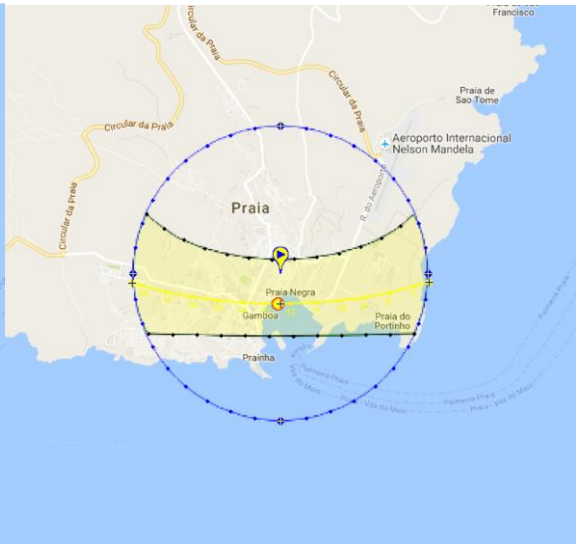
Agosto



Setembro



Outubro



Novembro



Dezembro



Anexo G

Exemplo da folha de cálculo da espessura mínima do isolamento térmico e das camadas de betão para os painéis

Composição da divisão: 1:1:0 (painel misto com vão para janela:painel misto sem vão:painel com vão para porta)											
Um	1	A1	0,68	A2	3,92	A3	1	A4	0,47	A5	5,13
A6	0,68	A7	3,03	A8	1,89	U6	1,6				
i	1	j	1	k	0	λisolamento	0,0487	ρ_{isol}	0,08246	ρ_{b3}	0,16754
e_{b1}	0,27	λ_b	2	U3	3,1	$e_{b,min,It}$	0,0600	$\rho_{b,ext}$	0,10754		
Isolamento	Fibra de coco										
Valores alvo	A	1		Valores	A	1,00					
	B	0,3			B	0,3					
Composição da divisão: 1:2:0 (painel misto com vão para janela:painel misto sem vão:painel com vão para porta)											
Um	1	A1	0,68	A2	3,92	A3	1	A4	0,47	A5	5,13
A6	0,68	A7	3,03	A8	1,89	U6	1,6				
i	1	j	2	k	0	λisolamento	0,0487	ρ_{isol}	0,064917	ρ_{b3}	0,185083
e_{b1}	0,27	λ_b	2	U3	3,1	$e_{b,min,It}$	0,0600	$\rho_{b,ext}$	0,185083		
Isolamento	Fibra de coco										
Valores alvo	A	1		Valores	A	1,00					
	B	0,3			B	0,3					
Composição da divisão: 1:3:0 (painel misto com vão para janela:painel misto sem vão:painel com vão para porta)											
Um	1	A1	0,68	A2	3,92	A3	1	A4	0,47	A5	5,13
A6	0,68	A7	3,03	A8	1,89	U6	1,6				
i	1	j	3	k	0	λisolamento	0,0487	ρ_{isol}	0,058683	ρ_{b3}	0,191317
e_{b1}	0,27	λ_b	2	U3	3,1	$e_{b,min,It}$	0,0600	$\rho_{b,ext}$	0,131317		
Isolamento	Fibra de coco										
Valores alvo	A	1		Valores	A	1,00					
	B	0,3			B	0,3					
Composição da divisão: 1:1:1 (painel misto com vão para janela:painel misto sem vão:painel com vão para porta)											
Um	1	A1	0,68	A2	3,92	A3	1	A4	0,47	A5	5,13
A6	0,68	A7	3,03	A8	1,89	U6	1,6				
i	1	j	1	k	1	λisolamento	0,0487	ρ_{isol}	0,102434	ρ_{b3}	0,147566
e_{b1}	0,27	λ_b	2	U3	3,1	$e_{b,min,It}$	0,0600	$\rho_{b,ext}$	0,087566		
Isolamento	Fibra de coco										
Valores alvo	A	1		Valores	A	1,00					
	B	0,3			B	0,3					
Composição da divisão: 1:2:1 (painel misto com vão para janela:painel misto sem vão:painel com vão para porta)											
Um	1	A1	0,68	A2	3,92	A3	1	A4	0,47	A5	5,13
A6	0,68	A7	3,03	A8	1,89	U6	1,6				
i	1	j	2	k	1	λisolamento	0,0487	ρ_{isol}	0,076858	ρ_{b3}	0,173142
e_{b1}	0,27	λ_b	2	U3	3,1	$e_{b,min,It}$	0,0600	$\rho_{b,ext}$	0,113142		
Isolamento	Fibra de coco										
Valores alvo	A	1		Valores	A	1,00					
	B	0,3			B	0,3					
Composição da divisão: 1:3:1 (painel misto com vão para janela:painel misto sem vão:painel com vão para porta)											
Um	1	A1	0,68	A2	3,92	A3	1	A4	0,47	A5	5,13
A6	0,68	A7	3,03	A8	1,89	U6	1,6				
i	1	j	3	k	1	λisolamento	0,0487	ρ_{isol}	0,067153	ρ_{b3}	0,182847
e_{b1}	0,27	λ_b	2	U3	3,1	$e_{b,min,It}$	0,0600	$\rho_{b,ext}$	0,122847		
Isolamento	Fibra de coco										
Valores alvo	A	1		Valores	A	1,00					
	B	0,3			B	0,3					

Anexo H

Síntese de resultados – Cálculo da espessura do isolamento térmico e de betão para os painéis

Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Argila expandida	Isolamento térmico	Argila expandida	Isolamento térmico	Argila expandida
λ_{isol}	0.160	λ_{isol}	0.160	λ_{isol}	0.160
e_{isol} (m)	0.287	e_{isol} (m)	0.226	e_{isol} (m)	0.204
e_b	-0.037	e_b	0.024	e_b	0.046
$e_{b,ext}$	-0.097	$e_{b,ext}$	-0.036	$e_{b,ext}$	-0.014
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Lã de vidro	Isolamento térmico	Lã de vidro	Isolamento térmico	Lã de vidro
λ_{isol}	0.039	λ_{isol}	0.039	λ_{isol}	0.039
e_{isol} (m)	0.066	e_{isol} (m)	0.052	e_{isol} (m)	0.047
e_b	0.184	e_b	0.198	e_b	0.203
$e_{b,ext}$	0.114	$e_{b,ext}$	0.138	$e_{b,ext}$	0.143
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Lã de rocha	Isolamento térmico	Lã de rocha	Isolamento térmico	Lã de rocha
λ_{isol}	0.035	λ_{isol}	0.035	λ_{isol}	0.035
e_{isol} (m)	0.059	e_{isol} (m)	0.046	e_{isol} (m)	0.042
e_b	0.191	e_b	0.204	e_b	0.208
$e_{b,ext}$	0.131	$e_{b,ext}$	0.144	$e_{b,ext}$	0.148
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Balgão de casa-de-atingar	Isolamento térmico	Balgão de casa-de-atingar	Isolamento térmico	Balgão de casa-de-atingar
λ_{isol}	0.046	λ_{isol}	0.046	λ_{isol}	0.046
e_{isol} (m)	0.078	e_{isol} (m)	0.061	e_{isol} (m)	0.055
e_b	0.172	e_b	0.189	e_b	0.195
$e_{b,ext}$	0.112	$e_{b,ext}$	0.129	$e_{b,ext}$	0.135
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Espiga de milho - miolo	Isolamento térmico	Espiga de milho - miolo	Isolamento térmico	Espiga de milho - miolo
λ_{isol}	0.101	λ_{isol}	0.101	λ_{isol}	0.101
e_{isol} (m)	0.176	e_{isol} (m)	0.138	e_{isol} (m)	0.125
e_b	0.074	e_b	0.112	e_b	0.125
$e_{b,ext}$	0.014	$e_{b,ext}$	0.052	$e_{b,ext}$	0.055
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Espiga de milho - casca	Isolamento térmico	Espiga de milho - casca	Isolamento térmico	Espiga de milho - casca
λ_{isol}	0.030	λ_{isol}	0.030	λ_{isol}	0.030
e_{isol} (m)	0.050	e_{isol} (m)	0.040	e_{isol} (m)	0.036
e_b	0.200	e_b	0.210	e_b	0.214
$e_{b,ext}$	0.140	$e_{b,ext}$	0.150	$e_{b,ext}$	0.154
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Fibra de banana	Isolamento térmico	Fibra de banana	Isolamento térmico	Fibra de banana
λ_{isol}	0.116	λ_{isol}	0.116	λ_{isol}	0.116
e_{isol} (m)	0.203	e_{isol} (m)	0.160	e_{isol} (m)	0.145
e_b	0.047	e_b	0.090	e_b	0.105
$e_{b,ext}$	-0.013	$e_{b,ext}$	0.030	$e_{b,ext}$	0.045
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Fibra de sisal	Isolamento térmico	Fibra de sisal	Isolamento térmico	Fibra de sisal
λ_{isol}	0.067	λ_{isol}	0.067	λ_{isol}	0.067
e_{isol} (m)	0.115	e_{isol} (m)	0.090	e_{isol} (m)	0.081
e_b	0.135	e_b	0.160	e_b	0.169
$e_{b,ext}$	0.075	$e_{b,ext}$	0.100	$e_{b,ext}$	0.109
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Palha	Isolamento térmico	Palha	Isolamento térmico	Palha
λ_{isol}	0.045	λ_{isol}	0.045	λ_{isol}	0.045
e_{isol} (m)	0.076	e_{isol} (m)	0.060	e_{isol} (m)	0.054
e_b	0.174	e_b	0.190	e_b	0.196
$e_{b,ext}$	0.114	$e_{b,ext}$	0.130	$e_{b,ext}$	0.136
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Fibra de coco	Isolamento térmico	Fibra de coco	Isolamento térmico	Fibra de coco
λ_{isol}	0.049	λ_{isol}	0.049	λ_{isol}	0.049
e_{isol} (m)	0.082	e_{isol} (m)	0.065	e_{isol} (m)	0.059
e_b	0.168	e_b	0.185	e_b	0.191
$e_{b,ext}$	0.108	$e_{b,ext}$	0.185	$e_{b,ext}$	0.131
Composição da divisão: 1:1:0		Composição da divisão: 1:2:0		Composição da divisão: 1:3:0	
Isolamento térmico	Fibra de tamariteira	Isolamento térmico	Fibra de tamariteira	Isolamento térmico	Fibra de tamariteira
λ_{isol}	0.041	λ_{isol}	0.041	λ_{isol}	0.041
e_{isol} (m)	0.069	e_{isol} (m)	0.054	e_{isol} (m)	0.049
e_b	0.181	e_b	0.196	e_b	0.201
$e_{b,ext}$	0.121	$e_{b,ext}$	0.136	$e_{b,ext}$	0.141

Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Agilja expandida	0.160	Isolamento térmico	Agilja expandida	0.160	Isolamento térmico	Agilja expandida	0.160
λ_{isol}		0.357	λ_{isol}		0.268	λ_{isol}		0.234
e_{isol} (m)		-0.107	e_{isol} (m)		-0.018	e_{isol} (m)		0.016
$e_{isol,ext}$		-0.167	$e_{isol,ext}$		-0.078	$e_{isol,ext}$		0.044
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Lã de vidro	0.039	Isolamento térmico	Lã de vidro	0.039	Isolamento térmico	Lã de vidro	0.039
λ_{isol}		0.082	λ_{isol}		0.061	λ_{isol}		0.054
e_{isol} (m)		0.168	e_{isol} (m)		0.189	e_{isol} (m)		0.196
$e_{isol,ext}$		0.108	$e_{isol,ext}$		0.129	$e_{isol,ext}$		0.136
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Lã de rocha	0.035	Isolamento térmico	Lã de rocha	0.035	Isolamento térmico	Lã de rocha	0.035
λ_{isol}		0.073	λ_{isol}		0.055	λ_{isol}		0.048
e_{isol} (m)		0.177	e_{isol} (m)		0.195	e_{isol} (m)		0.202
$e_{isol,ext}$		0.117	$e_{isol,ext}$		0.135	$e_{isol,ext}$		0.142
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Baçoço de cana-de-açúcar	0.046	Isolamento térmico	Baçoço de cana-de-açúcar	0.046	Isolamento térmico	Baçoço de cana-de-açúcar	0.046
λ_{isol}		0.097	λ_{isol}		0.072	λ_{isol}		0.063
e_{isol} (m)		0.153	e_{isol} (m)		0.178	e_{isol} (m)		0.18657859
$e_{isol,ext}$		0.093	$e_{isol,ext}$		0.118	$e_{isol,ext}$		0.127
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Espeja de milho - miolo	0.101	Isolamento térmico	Espeja de milho - miolo	0.101	Isolamento térmico	Espeja de milho - miolo	0.101
λ_{isol}		0.218	λ_{isol}		0.164	λ_{isol}		0.143
e_{isol} (m)		0.032	e_{isol} (m)		0.086	e_{isol} (m)		0.107
$e_{isol,ext}$		-0.028	$e_{isol,ext}$		0.026	$e_{isol,ext}$		0.047
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Espeja de milho - casca	0.030	Isolamento térmico	Espeja de milho - casca	0.030	Isolamento térmico	Espeja de milho - casca	0.030
λ_{isol}		0.063	λ_{isol}		0.047	λ_{isol}		0.041
e_{isol} (m)		0.187	e_{isol} (m)		0.203	e_{isol} (m)		0.209
$e_{isol,ext}$		0.127	$e_{isol,ext}$		0.143	$e_{isol,ext}$		0.149
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Fibra de banana	0.116	Isolamento térmico	Fibra de banana	0.116	Isolamento térmico	Fibra de banana	0.116
λ_{isol}		0.253	λ_{isol}		0.190	λ_{isol}		0.166
e_{isol} (m)		-0.003	e_{isol} (m)		0.060	e_{isol} (m)		0.084
$e_{isol,ext}$		-0.063	$e_{isol,ext}$		0.000	$e_{isol,ext}$		0.024
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Fibra de sisal	0.067	Isolamento térmico	Fibra de sisal	0.067	Isolamento térmico	Fibra de sisal	0.067
λ_{isol}		0.142	λ_{isol}		0.107	λ_{isol}		0.093
e_{isol} (m)		0.108	e_{isol} (m)		0.143	e_{isol} (m)		0.157
$e_{isol,ext}$		0.048	$e_{isol,ext}$		0.083	$e_{isol,ext}$		0.097
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Palha	0.045	Isolamento térmico	Palha	0.045	Isolamento térmico	Palha	0.045
λ_{isol}		0.094	λ_{isol}		0.071	λ_{isol}		0.062
e_{isol} (m)		0.156	e_{isol} (m)		0.173	e_{isol} (m)		0.188
$e_{isol,ext}$		0.096	$e_{isol,ext}$		0.119	$e_{isol,ext}$		0.128
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Fibra de coco	0.049	Isolamento térmico	Fibra de coco	0.049	Isolamento térmico	Fibra de coco	0.049
λ_{isol}		0.102	λ_{isol}		0.077	λ_{isol}		0.067
e_{isol} (m)		0.148	e_{isol} (m)		0.173	e_{isol} (m)		0.183
$e_{isol,ext}$		0.088	$e_{isol,ext}$		0.113	$e_{isol,ext}$		0.123
Composição da divisão: 1.1.1			Composição da divisão: 1.2.1			Composição da divisão: 1.3.1		
Isolamento térmico	Fibra de bananeira	0.041	Isolamento térmico	Fibra de bananeira	0.041	Isolamento térmico	Fibra de bananeira	0.041
λ_{isol}		0.086	λ_{isol}		0.064	λ_{isol}		0.056
e_{isol} (m)		0.164	e_{isol} (m)		0.186	e_{isol} (m)		0.194
$e_{isol,ext}$		0.104	$e_{isol,ext}$		0.126	$e_{isol,ext}$		0.134

Anexo I

Folha de cálculo da inércia térmica para as diferentes
tipologias de divisão

Composição da divisão: 1:1:0 (painel misto com vão:painel misto sem vão)									
It (Kg/m ³)	Ap (area util pavimento) (m ²)		1 Painel de parede 2						
472,9875	4								
Com caixa de ar									
Parede 1									
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S
Isolamento térmico	0,1	-	-	-	-	1	99	3,92	388,08
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150		
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150		
Parede 2									
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S
Isolamento térmico	-	-	-	-	-	1	99	5,13	507,87
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150		
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150		
Laje de cobertura									
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S
Argila expandida	-	-	-	-	-	1	99	4	396
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150		
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150		
Laje de piso									
Material	e	λ	R	ρ	m	r	M	S	M*r*S
Betão armado	0,2		2	0,10	1400	280	1	280	4
							>150		
							150		
Composição da divisão: 1:2:0 (painel misto com vão:painel misto sem vão)									
It (Kg/m ³)	Ap (area util pavimento) (m ²)		2 Painéis de parede 2						
424,4775	8								
Com caixa de ar									
Parede 1									
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S
Isolamento térmico	0,1	-	-	-	-	1	99	3,92	388,08
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150		
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150		
Parede 2									
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S
Isolamento térmico	-	-	-	-	-	1	99	5,13	507,87
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150		
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150		
Laje de cobertura									
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S
Argila expandida	-	-	-	-	-	1	99	8	792
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150		
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150		
Laje de piso									
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S
Betão armado	0,2		2	0,10	1400	280	1	280	8
							>150		
							150		

Composição da divisão: 1:3:0 (painel misto com vão:panel misto sem vão)										
lt (Kg/m ³)	Ap (area util pavimento) (m ²)		3 Painéis de parede 2							
408,3075	12									
Com caixa de ar										
Parede 1										
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S	
Isolamento térmico	0,1	-	-	-	-	1	99	3,92	388,08	
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150			
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150			
Parede 2										
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S	
Isolamento térmico	-	-	-	-	-	1	99	5,13	507,87	
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150			
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150			
Laje de cobertura										
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S	
Argila expandida	-	-	-	-	-	1	99	12	1188	
Betão armado (int)	0,06		2	0,03	1400	84	>150			
Reboco	0,015		1,3	0,01	1000	15	150			
Laje de piso										
Material	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m.°C/W)	ρ (Kg/m ³)	m	r	M	S (m)	M*r*S	
Betão armado	0,2		2	0,10	1400	280	1	280	12	1800
							>150			
							150			

Anexo J

Espessuras equivalentes à espessura de betão armado no que toca à resistência térmica

Argila expandida		Fibra de banana	
λ_{bet}	2,000	λ_{bet}	2,000
R_{bet} (1cm)	0,005	R_{bet} (1cm)	0,005
λ_{isol}	0,160	λ_{isol}	0,116
e_{isol} equivalente (m)	0,0008	e_{isol} equivalente (m)	0,00058
e_{isol} equivalente (cm)	0,08	e_{isol} equivalente (cm)	0,058
Lã de vidro		Fibra de sisal	
λ_{bet}	2,000	λ_{bet}	2,000
R_{bet} (1cm)	0,005	R_{bet} (1cm)	0,005
λ_{isol}	0,039	λ_{isol}	0,067
e_{isol} equivalente (m)	0,000195	e_{isol} equivalente (m)	0,000335
e_{isol} equivalente (cm)	0,0195	e_{isol} equivalente (cm)	0,0335
Lã de rocha		Palha	
λ_{bet}	2,000	λ_{bet}	2,000
R_{bet} (1cm)	0,005	R_{bet} (1cm)	0,005
λ_{isol}	0,035	λ_{isol}	0,045
e_{isol} equivalente (m)	0,000175	e_{isol} equivalente (m)	0,000225
e_{isol} equivalente (cm)	0,0175	e_{isol} equivalente (cm)	0,0225
Bagaço de cana-de-açúcar		Fibra de coco	
λ_{bet}	2,000	λ_{bet}	2,000
R_{bet} (1cm)	0,005	R_{bet} (1cm)	0,005
λ_{isol}	0,046	λ_{isol}	0,049
e_{isol} equivalente (m)	0,00023	e_{isol} equivalente (m)	0,000245
e_{isol} equivalente (cm)	0,023	e_{isol} equivalente (cm)	0,0245
Espiga de milho - miolo		Fibra de tamareira	
λ_{bet}	2,000	λ_{bet}	2,000
R_{bet} (1cm)	0,005	R_{bet} (1cm)	0,005
λ_{isol}	0,101	λ_{isol}	0,041
e_{isol} equivalente (m)	0,000505	e_{isol} equivalente (m)	0,000205
e_{isol} equivalente (cm)	0,0505	e_{isol} equivalente (cm)	0,0205
Espiga de milho - casca			
λ_{bet}	2,000		
R_{bet} (1cm)	0,005		
λ_{isol}	0,01		
e_{isol} equivalente (m)	0,00005		
e_{isol} equivalente (cm)	0,005		