



Rui Manuel Aranda Melo

COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE EDIFÍCIOS CORRENTES EM DIFERENTES CLIMAS E LATITUDES: CASO DE ESTUDO EM PORTUGAL E ANGOLA

COMPARISON OF THE HYGROTHERMAL BEHAVIOR OF
CURRENT BUILDINGS IN DIFFERENT CLIMATES AND LATITUDES:
CASE OF STUDY IN PORTUGAL AND ANGOLA

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,
orientada pelo Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva e pela Professora Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira Ramos

Coimbra, Fevereiro, 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Rui Manuel Aranda Melo

Comparação do comportamento higrotérmico de edifícios correntes em diferentes climas e latitudes:

Caso de estudo em Portugal e Angola

Comparison of the hygrothermal behavior of current buildings in different climates and latitudes:

Case of study in Portugal and Angola

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em construções, orientada pelo Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva e pela Professora Doutora Ana Teresa Vaz Ferreira Ramos

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

Coimbra, 26 de Janeiro de 2017

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostava de agradecer a Deus por estar presente na minha vida em todos os momentos, da mesma forma aos meu pais, pessoas que mais me são queridas, por nunca terem desistido de mim mesmo nos momentos em que toda a gente desacreditava inclusive eu próprio, souberam manter a força o caracter a humildade, dignidade e capacidade de trabalho que tanto lhes admiro, além do mais são os meus melhores amigos.

Gostava de agradecer ao professor Raimundo Mendes da Silva pela coerência e razoabilidade com que conduziu todo este processo desde o início até ao fim. Ademais pela acessibilidade e prestabilidade prestada, sempre que era necessário resolver problemas e questões importantes para o desenvolvimento e finalização desta tese.

À professora Ana Ramos pelo profissionalismo, versatilidade e conhecimentos prestados no supervisionamento deste trabalho. Além do mais, pela capacidade de pesquisa e raciocínio logico que foram necessários quando surgiram problema de ordem bibliográfica, graças a professora foi possível seguir em frente, e obter os resultados pretendidos.

Gostava também de agradecer à Inês Martins, Algarvia de “gema”, que com a sua alegria boa disposição e compreensão transformou momentos difíceis em etapas, que me fizeram chegar até aqui. Ademais, foi uma peça importante, como consultora para a resolução de problemas relacionadas com a análise morfológica e sintaxe dos textos.

Por último gostava de agradecer a todos os amigos, colegas que estiveram presentes na minha vida académica e pessoal, especialmente a todas aquelas pessoas que mostraram adversidade na minha passagem, a estas vai o meu especial apreço, pois sem elas eu nunca teria chegado até aqui, o motivo está nas palavras seguintes.

“A lição é a seguinte: nunca desista, nunca, nunca, nunca. Em nada. Grande ou pequeno importante ou não. Nunca desista. Nunca se renda à força, nunca se renda ao poder aparente esmagador do inimigo”.

Winston Churchill

RESUMO

Considerando-se a uniformidade da construção praticada em todo o mundo e a extensa produção de edifícios correntes, com arquiteturas semelhantes em climas diferentes, do enquadramento específico nas regiões de Angola e de Portugal, sendo este o tema, de onde adveio o interesse pelo desenvolvimento do presente trabalho. A importância desta investigação revelou-se pertinente, pelo facto de não existir uma regulamentação específica de comportamento higrotérmico de edifícios em Angola.

A tese de mestrado a desenvolver, tem como objetivo analisar o desempenho térmico e higrotérmico da arquitetura contemporânea corrente em climas distintos, tomando como caso de estudo a cidade de Coimbra, em Portugal, e as cidades de Lubango e Luanda, em Angola. O trabalho centrar-se-á fundamentalmente no contributo das fachadas para o comportamento higrométrico dos edifícios e incluirá o teste de diversas propostas de solução de melhoria, assim como a análise da sua adequação e eficácia nos vários cenários considerados. Em Portugal, será seguida a metodologia do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação o REH, publicado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, no contexto específico do comportamento das fachadas, e por sua vez, em Angola será utilizado um modelo equivalente simplificado e adaptado às condições locais, cuja proposta também faz parte dos objetivos deste trabalho.

De acordo com os objetivos referidos, considerou-se congruente estabelecer uma abordagem descritiva, baseada na pesquisa bibliográfica e em outros estudos de caso. Para este efeito, a metodologia de investigação adotada baseou-se essencialmente na pesquisa e na análise de documentos sobre o tema em estudo, nomeadamente em artigos, regulamentos, teses, Sites da Internet, publicações de organismos nacionais e internacionais sobre a temática, que serviram de apoio à compreensão e exposição dos trabalhos efetuados nesta dissertação.

Será suficiente a implantação de medidas climáticas solares para suprimir as necessidades de Inverno e de Verão em edifícios de serviços como Hotéis, que exigem uma simulação dinâmica da envolvente exterior e interior com os seus constituintes mecânicos. Existe algum tipo de viabilidade em adaptar o REH em climas subtropicais. Estas entre outras, são as questões fulcrais a responder nesta dissertação de mestrado.

ABSTRACT

Considering the uniformity of the construction practiced throughout the world and the extensive production of current buildings, with similar architectures in different climates, of the specific framework in the regions of Angola and Portugal, from that became the interest of development this work. The importance of this investigation was relevant because there is no specific regulation of the hygrothermal behavior of buildings in Angola.

The master thesis to be developed has the objective to analyze the thermal and hygrothermal performance of current contemporary architecture in different climates, taking as a case of study the city of Coimbra in Portugal and the cities of Lubango and Luanda in Angola. The work will focus mainly on the contribution of façades to the hygrometric behavior of buildings and will include the testing of various improvement solutions as well as the analysis of their adequacy and effectiveness in the several scenarios. In Portugal, will be followed the Regulation of Energy Performance of Residential Buildings (REH) methodology, Published by Decree-Law nº 118/2013 of 20 August in the specific context of façade behavior. In Angola a simplified equivalent model will be used and adapted to the local conditions.

According to the mentioned objectives, it was considered congruent to establish a descriptive approach, based on bibliographic research and case studies. To this end, the methodology adopted was the research and analysis of documents such as case of study, namely articles, regulations, theses, websites, national and international publications on the subject, which supported the understanding of this dissertation.

It's possible that the implement of solar climate measures to suppress the winter and summer needs is sufficient, in service buildings as Hotels, which require dynamic simulation of the outdoor and indoor surround as its mechanical attributes. Is there any viability in adapting the REH in subtropical climates. These, among others, are central questions to answer in this master thesis.

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice	iv
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Simbologia.....	ix
ABREVIATURAS	x
1 introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e Motivações	2
1.3 Estrutura da tese	3
2 QUADRO LEGAL, NORMAS E REGULAMENTOS	5
2.1 Diretivas Europeias (EPBD)	5
2.2 Enquadramento nacional.....	6
2.3 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, REH.	7
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	8
3.1 Clima e arquitetura bioclimática	8
3.2 Clima e geometria solar	9
3.3 Parâmetros climáticos mais influentes na construção.....	12
3.4 Projeto bioclimático	14
3.4.1 Orientação do edifício	15
3.4.2 Forma e localização	17
3.5 Arquitetura solar passiva	18
3.5.1 Sistemas de captação	19
3.5.2 Inércia térmica	19
3.5.3 Isolamento térmico	21
3.5.4 Fenestração	22
3.5.5 Ventilação natural.....	23
3.5.6 Sombreamento e proteção solar.....	25
3.6 Conforto termo higrométrico	26
3.7 Climas de Portugal e Angola	28
3.8 Clima e soluções solares passivas.....	30

4	ESTUDO PARAMÉTRICO	31
4.1	Objetivos	31
4.2	Ferramentas e metodologia de cálculo	31
4.2.1	Metodologia para o estudo de dispositivos de sombreamento	32
4.2.2	Metodologia utilizada para o estudo da ventilação	33
4.3	Descrição geométrica e geográfica do edifício	33
4.4	Condições de cálculo e soluções construtivas dos diferentes cenários	35
4.4.1	Condições de cálculo e ocupação	35
4.4.2	Soluções construtivas	37
4.5	Análise dos parâmetros térmicos	40
4.5.1	Análise das soluções construtivas	40
4.6	Higrometria das soluções construtivas	43
4.6.1	Comportamento higrométrico da parede do tipo P1 para Coimbra	44
4.6.2	Comportamento higrométrico das paredes P2 e P3 nos seus cenários	46
4.7	Inércia térmica e capacidade específica de armazenamento térmico	46
4.8	Parâmetros térmicos e climáticos	48
4.8.1	Análise e comparação dos Graus dias de aquecimento	49
4.8.2	Parâmetros climáticos para a estação e aquecimento e arrefecimento	50
4.9	Ganhos e perdas pela envolvente exterior na estação de aquecimento	52
4.9.1	Ganhos e perdas no cenário de Coimbra na estação de aquecimento	53
4.9.2	Ganhos e perdas no cenário de Lubango na estação de aquecimento	54
4.9.3	Ganhos e perdas no cenário de Luanda na estação de aquecimento	55
4.9.4	Relação entre N_{ic}/N_i , N_{vc}/N_v e N_{tc}/N_t	56
4.10	Necessidades de aquecimento e de arrefecimento	59
4.10.1	Necessidades nominais de energia útil para o cenário de Coimbra	60
4.11	Necessidades nominais de energia útil para o cenário de Lubango	61
4.12	Necessidades nominais de energia útil para o cenário de Luanda	62
4.13	Propostas de melhoria através de sistemas solares passivos	63
4.13.1	Dispositivos de proteção solar e ventilação	63
4.13.2	Cenário de Coimbra	64
4.13.3	Cenário de Lubango	67
4.13.4	Cenário de Luanda	69
5	CONCLUSÃO	72
5.1	Considerações finais acerca da pesquisa bibliográfica	72
5.2	Conclusões dos resultados dos testes realizados antes e depois da intervenção	75
5.3	Perspetivas de desenvolvimento	77
	BIBLIOGRAFIA	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Incidência solar na atmosfera terrestre (Moita 2010).	10
Figura 3.2- Clima mundial, segundo koppen (Wikipédia 2016).	12
Figura 3.3 - Exemplo de orientação de edifícios em Portugal (Moita 2010).	16
Figura 3.4 - Orientação solar em Angola, virada a norte (Guedes 2011).	17
Figura 3.5 - Formas de edifícios e sua resposta aos ventos dominante (Moita 2010).	18
Figura 3.6 - Arrefecimento noturno da massa térmica por ventilação (Silva 2009)	20
Figura 3.7 - Isolamento exterior na envolvente de um edifício (Moita 2010).	22
Figura 3.8 - Tipo de vidro e as percentagens de radiação, luz e transmissão (UCLA 2014). .	23
Figura 3.9 - Habitação de Marselha por Le Corbusier (wikiarquitectura 2015).	26
Figura 3.10 - Comparações entre a utilização de técnicas solares passivas (Silva 2009).	30
Figura 4.1 - Desenhos dos alçados da solução original (Autocad).	34
Figura 4.2 - Localização geográfica (google.pt 2015).	34
Figura 4.3 - Iluminação, ocupação e equipamentos, considerados (CYPE).	36
Figura 4.4 - Desenho das plantas para envolvente interior (Autocad).	37
Figura 4.5 - Modelo 3D produzido pelo CYPE.	37
Figura 4.6 - Representação gráfica das condensações intersticiais previstas para Coimbra (CYPE).	45
Figura 4.7 - Representação gráfica das condensações intersticiais previstas Luanda na figura a esquerda e Lubango na figura a direita (CYPE).	46
Figura 4.8 - Inércia dos diferentes cenários construtivos, P1 em Coimbra, P2 em Luanda e P3 em Lubango (CYPE).	47
Figura 4.9 – Comparação dos Graus dias para a estação de aquecimento.	50
Figura 4.10 - Perdas e ganhos solares de inverno para o cenário de Coimbra.	54
Figura 4.11 - Perdas e ganhos solares de inverno para o cenário de Lubango	55
Figura 4.12 - Perdas e ganhos solares de inverno para o cenário de Luanda.	56
Figura 4.13 – Relações gráficas, retirados da folha de cálculo do REH para Coimbra.	57
Figura 4.14 – Relações gráficas, retirados da folha de cálculo do REH para Lubango.	58
Figura 4.15 – Relações gráficas, retirados da folha de cálculo do REH para Luanda.	59
Figura 4.16 - Valor do produto do $F_s.F_g$ para os ganhos no Inverno à esquerda e para o Verão à direita (ITeCons 2013).	64

Figura 4.17 - Exemplo de ventilação natural por condutas.	65
Figura 4.18 - Relação entre as necessidades nominais anuais para a energia, Coimbra.	66
Figura 4.19 - Ventilação natural através de efeito chaminé (Fonte: climateconsulting).	67
Figura 4.20 - Relação entre as necessidades nominais anuais para a energia, Lubango.	68
Figura 4.21 - Relações entre as necessidades nominais anuais de energia, Luanda.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Variáveis climáticas para a cidade de Coimbra, Lubango e Luanda (NASA 2015).....	29
Tabela 4.1 - Condições de cálculo exteriores e interiores em todos os cenários.....	36
Tabela 4.2 - Resumo dos cenários com as devidas soluções construtivas associadas.....	38
Tabela 4.3 – Soluções construtivas a aplicar no modelo 3D (CYPE).....	39
Tabela 4.4 - Comparação dos coeficientes de transmissão térmica.	41
Tabela 4.5- Comparação dos coeficientes de transmissão térmica e fator solar dos diferentes vão envidraçados.....	42
Tabela 4.6 - Comparação dos valores das UPTP das diferentes soluções construtivas	42
Tabela 4.7 - Comparações dos coeficientes de transmissão linear, com os Ψ_{ref} (W/m ² °C)...	43
Tabela 4.8 - Valores regulamentares higrométricos (CYPE).....	44
Tabela 4.9 - Valor do fator de resistência superficial (CYPE).....	45
Tabela 4.10 – Classes de inércia do REH (ITeCons 2013).	47
Tabela 4.11 - Graus dias mensais GD (°C.dia) na base 18 °C para Lubango e Luanda.....	49
Tabela 4.12 - Parâmetros climáticos para estação de aquecimento.....	51
Tabela 4.13 - Energia solar mensal numa superfície vertical orientada a norte ou sul.	51
Tabela 4.14 - Zoneamento Climático para a estação de arrefecimento.....	52
Tabela 4.15 - Valor dos ganhos e perdas para o cenário de Coimbra	54
Tabela 4.16 - Valor dos ganhos e perdas para o cenário de Lubango.	55
Tabela 4.17 - Valor dos ganhos e perdas para o cenário de Luanda.	56
Tabela 4.18 - Valor das necessidades nominais para Coimbra.	60
Tabela 4.19 - Valor das necessidades nominais para Lubango.	61
Tabela 4.20 - Necessidades nominais para aquecimento e arrefecimento para Luanda.....	62
Tabela 4.21 - Renovações horárias de ar a substituir na folha de cálculo (LNEC).....	65
Tabela 4.22 – Comparações entre o cenário original e melhorado, Coimbra.	66
Tabela 4.23 - Renovações horárias de ar a substituir na folha de cálculo.	68
Tabela 4.24 – Comparações entre o cenário original e melhorado, Lubango.	69
Tabela 4.25 - Renovações horárias de ar a substituir na folha de cálculo.....	70
Tabela 4.26 – Comparações entre o cenário original e melhorado, Luanda.	71

SIMBOLOGIA

U – Coeficiente de transmissão térmica

θ_e – Temperatura do ar exterior em °C

φ_e – Humidade relativa exterior em %

θ_i – Temperatura do ar interior em °C

Pa – Pascal

$P_{sat}(\theta_{si})$ – Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, em Pa

$\theta_{si,min}$ – Temperatura mínima superficial interior

$f_{rsi,min}$ – Fator de resistência superficial interior mínimo

Udesc. – Coeficiente de transmissão térmica descendente

Uasc. – Coeficiente de transmissão térmica ascendente

Uwn – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação noturna

Uwdn – Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado

Pi – Pressão de vapor no ambiente interior, em Pa

ψ_{ref} – Coeficiente de transmissão térmica linear de referência.

ABREVIATURAS

EPBD – Energetic Performance Buildings Directive

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

EU – União Europeia

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

EC – European Parliament and of the Council

NZEBs – Nearly Zero-Energy Buildings

ADENE – Agência Nacional para a Energia

SCE – Sistema Certificação Energética dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

DEC – Variação do ângulo entre o plano equatorial terrestre e a linha Terra-Sol

ITE50 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, atualizado em 2006

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Desde os tempos mais remotos, que a principal finalidade da habitação é ajudar o ser humano a colmatar as inconstâncias hostis do meio ambiente e advertir-se das condições climáticas. Embora não estivessem definidos os conceitos de energia, térmica e os princípios da termodinâmica, já era estabelecida a relação entre o clima, a forma, o material de construção e o bem-estar físico. Consequentemente, a globalização dos conceitos arquitetónicos na sociedade ocidental, conduziu à utilização, de formas e técnicas construtivas com materiais de construção (betão, vidro e aço), arbitrária e análoga em todo o mundo, sem ter em conta as condições geográficas e climáticas locais. Circunstancialmente, todo este processo acabou por convergir, primeiramente, em problemas monetários, devido aos custos energéticos para aquecimento, arrefecimento e iluminação necessários para este tipo de edifícios e, posteriormente, em ecológicos, com o excessivo consumo de combustíveis fósseis para suprimir essas mesmas necessidades (Moita 2010).

Com as crises petrolíferas dentro da conjuntura mundial, devido ao fato de a procura de combustíveis fósseis ser maior que a oferta, houve roturas económicas e ecológicas que, no seu todo, levaram a que, a partir dos anos 70, os países europeus de economia mais avançada repensassem nos hábitos de consumo energético para manter o seu bem-estar. Todo este processo gerou questionamento e investigação, que incidiu na utilização de energias renováveis “limpas”, que não tivessem impactos ambientais, e fossem acessíveis económico-financeiramente. Contudo, a arquitetura e a engenharia, estudaram técnicas construtivas solar passivas, que vieram rentabilizar e potencializar todos os sistemas construtivos, que têm como objetivo, ser aplicados, futuramente, na construção e na reabilitação habitacional, tendo em conta o clima e as características geográficas de cada região. Por sua vez, todos estes conceitos e técnicas tomaram forma na arquitetura e na engenharia civil o que levou, mais tarde, a estabelecer regras e princípios que definiram a construção bioclimática, tal como os edifícios de consumo zero ou passivos. Todavia, até alguns anos atrás, em Portugal, os baixos padrões socioeconómicos fomentavam uma construção tradicional com uma baixa qualidade em termos de conforto térmico, colmatado tal facto com sistemas tradicionais de aquecimento, como a típica lareira no inverno e a ventilação natural no verão. Posteriormente, com o aumento do nível de vida das

populações, essas necessidades vieram a ser suprimidas com sistemas alternativos eletromecânicos, baseados essencialmente nos combustíveis fósseis que levaram às repercussões, referidas anteriormente (Pinheiro 2006; Moita 2010).

Desde o período colonial, que Angola sempre apresentou problemas em desenvolver soluções para a habitação, devido a conflitos geopolíticos que resultaram, na sua maioria, em dificuldades socioeconómicas. Com o intuito de fugir à guerra civil muitas populações locais emigraram para os grandes centros, deixando para trás as suas habitações indígenas, feitas com recurso a matérias e bens locais, para serem realojadas, em favelas e bairros de lata, nas grandes metrópoles, como Luanda. Porém, o problema traduziu-se em dificuldades de ordem técnica, com a introdução de métodos e soluções eruditas numa construção claramente carenciada em mobilização de capital, materiais, mão-de-obra qualificada, equipamento e supervisão. Na Angola do pós-guerra, a escassez de recursos financeiros, materiais, humanos, entre outros, devido à devastação provocada pela guerra, criou inúmeros desafios a empresas internacionais, entre as quais se destacam as grandes construtoras portuguesas que, em conjunto com as autoridades governamentais e como resultado da estabilização política, refletiram, no intuito de responder aos diversos condicionantes subjacentes, que fizeram com que este país, despontasse numa construção massiva de infraestruturas. Angola é um país que apresenta um défice elevado de energia, cerca de 140 KWh por habitante, o que a coloca atrás da média de consumo per-capita em África. Estima-se que apenas 30% da população tenha acesso a energia, sendo que, dentro destes consumidores, 70% vivem na capital do país, o que indica que grande parte do parque edificado se situa na capital e grandes cidades de Angola.(Pitra 2016; Magalhães 2016).

1.2 Objetivos e Motivações

Este documento visa propor orientações e tentar redefinir objetivos e estratégias construtivas que melhor se adequem nas cidades em estudo, Coimbra, em Portugal, Luanda e Lubango, em Angola, no sentido de garantir que futuramente os edifícios tenham uma melhor resposta aos impactos causados pelo clima, garantindo desta forma, condições de conforto interior e tornando-os também mais viáveis no que respeita à saúde humana. Neste sentido será escolhido um edifício considerado corrente, com uma arquitetura convencional, originalmente situada na cidade de Lubango correspondente a um Hotel, portanto, um edifício habitação coletivo, subsequentemente, serão consideradas três soluções construtivas diferentes a serem testadas nos diferentes cenários, permitindo assim analisar o comportamento higrotérmico das fachadas e o contributo destas para o panorama geral do edifício (hotel) em estudo. Para tal fim, serão utilizados métodos dedutivos tal como, diagramas psicométricos, ferramentas bioclimáticas e os parâmetros estabelecidos no regulamento de desempenho térmico português atualmente em vigor o Regulamento de

Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (ITeCons 2013). Posteriormente, em cada caso serão aplicados sistemas solares passivos (exposição solar, inércia térmica, proteção, sombreamento e ventilação) com o objetivo de comparar o comportamento higrotérmico, verificando o conforto dentro das habitações, reduzir os gastos energéticos, aproveitando os recursos disponíveis. Por seu turno, servirá para perceber se existe viabilidade em utilizar e adaptar o regulamento aos climas existentes em Angola. Após o procedimento, referido anterior, serão feitas verificações, análises e comparações dos consumos de energia para aquecimento e arrefecimento, em cada um dos cenários e respetivas soluções construtivas associadas de acordo com o REH, antes e depois de propostas de melhoria com técnicas solares passivas, sempre no contexto específico do comportamento das fachadas. A aplicação de sistemas solares passivos terá uma abordagem climática local, para tal, será necessário variar os parâmetros climáticos, na folha de cálculo preparada de acordo com o REH (ITeCons 2013), permitindo assim ter uma base de comparação da adaptação da arquitetura corrente aos climas em estudo, decernindo os aspetos que mais a evidenciam e fragilizam as variadas envolventes exteriores, nos locais em estudo.

Tratando-se de estruturas que estão a atingir uma fase do seu ciclo de vida útil, em que muitas delas apresentam já graves patologias construtivas e alterações posteriores desqualificadas face à alteração das exigências funcionais. Edifícios de habitação coletiva como este Hotel, com corrente complexidade arquitetónica contém necessidades muito específicas de conforto para quem as utiliza, com reflexos de grandes consumos energéticos, configura, de imediato, constituir, no contexto construtivo mundial atual, em que realça cada vez mais a sustentabilidade dos edifícios correntes, caso de estudo. Assim sendo, o que motivou o desenvolvimento desta tese não foi apenas a identificação da singularidade deste tipo equipamento coletivo no quadro da construção em Angola, mas também a ideia de poder contribuir, com desenvolvimentos futuros, para a reabilitação destes edifícios.

1.3 Estrutura da tese

A dissertação é composta em 5 capítulos sendo referidos, de seguida, de forma muito sucinta, o seu conteúdo:

O primeiro capítulo é referente à introdução, constituído por um enquadramento onde se fazem considerações acerca de aspetos gerais relacionados com o tema da dissertação, como, os objetivos, as motivações para o estudo e a estrutura da tese.

O segundo capítulo promove uma reflexão do quadro legal, normativo e regulamentar, sendo aquele que apresenta maior importância no âmbito internacional e nacional,

referente ao conforto térmico em edifícios correntes. Contudo, será feita uma abordagem ao regulamento português (REH) que incidirá numa análise resumida dos parâmetros térmicos mais relevantes que constituem a norma vigente e que estabelecem a classificação de um edifício mediante aos consumos energéticos produzidos.

O terceiro capítulo refere-se à revisão bibliográfica, no qual visa expor aspetos gerais da arquitetura dita corrente, tal como, evidenciar referências à arquitetura bioclimática e decernir qual a influência que o clima tem na arquitetura de Portugal e Angola e quais os parâmetros climáticos que mais influenciam o conforto interno e os consumos energéticos dentro de um edifício. Vão também, ser analisadas técnicas construtivas passivas, existentes na arquitetura bioclimática que proporcionam melhoria do conforto interior dos edifícios e a redução dos consumos energéticos habitacionais. Inclusive, revela a abordagem do conforto interior dentro de um edifício corrente e quais os parâmetros que mais o evidencia. Ainda dentro deste contexto, serão feitas análises aos casos de estudo Coimbra em Portugal e Luanda e Lubango em Angola, através do Analysis Bio 2.0, um programa informático desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, no Brasil, que permite combinar os sistemas solares passivos, com os parâmetros climáticos do local de estudo, reproduzindo as soluções que permitem obter conforto nos diferentes meses do ano.

O quarto capítulo, reflete o estudo paramétrico de três tipos de soluções construtivas, aplicadas no edifício utilizado como caso de estudo, em três cenários climáticos diferentes, concretamente em Coimbra, Lubango e Luanda. Em resumo, no final será feita a análise higrotérmica, parcial e total, do edifício, em diferentes climas com as respetivas soluções construtivas associadas, de acordo com o REH, assumindo que um dos cenários construtivos será a base de referência. Constituirá o objetivo principal, variar e identificar os parâmetros climáticos mais importantes do REH, tal como os graus dias, temperaturas exteriores de projeto e a duração das estações de aquecimento, adaptando-os posteriormente ao clima em estudo numa folha de cálculo baseada no regulamento.

O quinto e último capítulo, reflete as conclusões finais de todos os capítulos anteriores, com principal ênfase sob o penúltimo capítulo. Neste, são apresentadas as considerações finais, acerca do estudo paramétrico dos casos e os seus resultados.

2 QUADRO LEGAL, NORMAS E REGULAMENTOS

2.1 Diretivas Europeias (EPBD)

A Energetic Performance Buildings Directive (EPBD), legislação da União Europeia (EU), que foi desenvolvida no sentido de definir um quadro comum, no que se refere à poupança energética nos edifícios, pois estes são responsáveis por quase 40% do consumo de energia na UE. O objetivo desta diretiva é, fundamentalmente, definir metas para a poupança de energia e de emissões de carbono da UE. A EPBD é considerada como uma componente legislativa significativa na política de eficiência energética da UE e foi adotada para contribuir no compromisso de Quioto e garantir o aprovisionamento energético, reduzindo o efeito de gases de estufa e desacelerar o aquecimento global do planeta.

A diretiva n.º 2002/91/CE de 16 de dezembro de 2002, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, referente ao desempenho energético dos edifícios (EPBD) instituiu em aplicar exigências térmicas e de desempenho energético para edifícios novos e existentes sujeitos a grandes obras de renovação, promovendo a obrigatoriedade de implementação, por parte dos diversos estados membros, de um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão acerca da qualidade térmica dos edifícios, privados e públicos, aquando da construção, venda ou arrendamentos dos mesmos.

A Diretiva 2009/28/EC (RES) do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 altera e consecutivamente e revoga as Diretivas 2001/77/EC and 2003/30/EC relativa à produção de energia elétrica produzida por fontes de energia renováveis. Esta diretiva estabelece metas vinculativas para os Estados Membros para que a UE, como um todo, atinja uma quota de 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia até 2020 e uma quota de 10% de energias renováveis, especificamente no setor dos transportes.

A Diretiva Europeia 2010/31/UE de dezanove de maio de dois mil e dez, reformulou as medidas importantes necessárias na redução da dependência energética da União Europeia e das emissões de gases com efeito de estufa, sendo assim estabelecidas novas metas para melhorar o desempenho energético dos edifícios, sendo fornecido um quadro geral comum para o cálculo do desempenho energético de edifícios e alguns novos conceitos

introduzidos, como, o de Edifícios de Energia Quase Zero (NZEBs) e da definição de requisitos tendo em vista a rentabilidade económica. Além disso, na diretiva é indicado expressamente que a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios deve ter em atenção as normas europeias (ITeCons. web Site. Acedido Dezembro 10, 2015; Niza et al 2016).

2.2 Enquadramento nacional

Em Portugal, a implementação da EPBD é da responsabilidade geral do Ministério da Economia, em conjunto com o Ministério do Ambiente. A ADENE, Agência para a Energia em Portugal, é a entidade gestora deste processo. A Diretiva 2002/91 /CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril de 2006, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, o Decreto- Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização em Edifícios (para edifícios de escritórios), e o Decreto-Lei n.º 80 / 2006, 04 de abril, que aprova o Regulamento de Comportamento Térmico dos Edifícios (para edifícios residenciais).

Da aplicação das diretivas europeias, em Portugal resultou, na regulamentação nacional que conduziu à formação do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e à revogação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE – Decreto-lei n.º 40/90 de seis de fevereiro) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), todos de quatro de abril. Como consequência os estados membros procederam à revisão regulamentar, o que ao nível nacional implicou a revisão do Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril que dita o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). (ITeCons. Web Site. Acedido Dezembro 10, 2015 2015).

A transposição para o direito nacional da Diretiva 2010/31/UE criou uma oportunidade para melhorar a sistematização e o âmbito do Sistema de Certificação Energética e respetivos regulamentos, bem como alinhar imposições nacionais de requisitos. Da última revisão regulamentar, na publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que revoga os anteriores, Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE - DL78/2006 de quatro de abril), Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE - DL80/2006 de quatro de abril) e o RSECE - DL79/2006 de quatro de Abril, resultou um novo regulamento. O novo regulamento engloba, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A Certificação Energética de Edifícios pressupõe uma avaliação do desempenho higrotérmico e energético dos edifícios e da sua qualidade do ar interior, de modo a identificar as medidas de melhoria que permitem aumentar o seu conforto e desempenho, assim como diminuir a probabilidade de ocorrência de patologias. Na maioria dos processos de certificação energética de edifícios, são apresentadas medidas de melhoria, sendo efetuada, sempre que aplicável, uma análise técnico-económica, permitindo ao cliente ter a perceção do investimento necessário à sua implementação (individualizada ou de forma global) e do benefício, em termos energéticos e económico, da sua aplicação. Os estudos de medidas de melhoria têm ainda como principal finalidade transmitir ao cliente os benefícios em termos de conforto higrotérmico, que nem sempre se exprimem em benefício quantificável em termos energéticos e/ou económicos (Ferreira et al 2016; Niza et al 2016).

2.3 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, REH.

O Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), tem como objetivo estabelecer parâmetros e metodologias para a caracterização do desempenho energético em condições nominais, promover a melhoria do desempenho térmico e a eficiência dos sistemas técnicos em edifícios residenciais, na construção de novos edifícios e nas grandes intervenções na envolvente do edifício e sistemas técnicos em edifícios existentes. A aplicação do REH, deve ser verificada para habitações unifamiliares, para todo o edifício e habitações multifamiliares, para cada fração, tal como, edifícios mistos e unidades de habitação. Tal como no anterior regulamento (RCCTE), o REH impõe requisitos energéticos para todos os edifícios de habitação, que sejam novos ou existentes e sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, o regulamento é claro quanto aos limites para as necessidades de energia de aquecimento e limites das necessidades de energia de arrefecimento, bem como, requisitos nos coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior, opaca ou envidraçada, na perspetiva de melhorar o desempenho térmico e minimizar a ocorrência de patologias, bem como o sobreaquecimento dos espaços interiores, através dos vãos envidraçados. Além do mais, estão implícitos os requisitos de ventilação, com valores mínimos e máximos no número de renovações de ar por hora, no sentido de garantir a qualidade do ar interior e evitar perdas de calor no inverno e ganhos excessivos nos verão por renovação do ar interior através do ar exterior. O novo regulamento, prevê o contributo de energias renováveis para suprimir os consumos energéticos nas necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios de habitação, e com isto, obter uma otimização do conforto interior, sem recurso a combustíveis fósseis, no que lhe concerne, economicamente, mais viáveis, no sentido de serem autossustentáveis com o acrescimento de se diminuir as emissões de CO₂ e gases poluentes (Diário da República 2013; Fragoso 2013).

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Clima e arquitetura bioclimática

O planeta enfrenta diversos problemas, causados em parte, pela saturação demográfica. Em proporção, a população mundial, produz, extrai e consome mais recursos naturais, comparado, com o alcance que o planeta tem em sustentar naturalmente essa mesma produção. Por conseguinte, a capacidade natural de renovação dos ecossistemas em relação à poluição humana, é igualmente desproporcional e insuficiente. O sector habitacional é o terceiro maior consumidor de energia, depois dos sectores dos transportes e das indústrias, são consumidos cerca de 42% para o aquecimento e para a iluminação de edifícios, com recurso a combustíveis fósseis, que produzem 35% dos gases poluentes. Todavia, a engenharia e a arquitetura estudam e formulam soluções de ordem técnica, para ultrapassar os problemas de consumo excessivo de energia, com recurso a combustíveis fósseis dentro da área habitacional. Garantindo desta forma que os serviços nos edifícios sejam funcionais e tenham a qualidade e as condições necessárias de conforto. Nesse seguimento, o clima é considerado como uma das condicionantes mais importantes para conseguir colmatar estes problemas e alcançar objetivos que reformulem a maneira como é organizada a distribuição de energia e o consumo desta nos espaços edificados, tendo sempre em vista a utilização de meios naturais não poluentes, para colmatar necessidades de aquecimento e arrefecimento, visto serem as maiores fontes de consumo. (Silva e Ramos 2003).

Com o início da revolução industrial, em meados do século XVIII, iniciou-se um processo global de êxodo rural, movido pela procura da melhoria das condições de vida, nos grandes centros urbanos, necessitados de mão-de-obra para sustentar as novas indústrias. Por conseguinte, a crescente demanda de tecnologia e mão-de-obra agregou profundas alterações nos meios sociais, económicos e habitacionais, como por exemplo, os bairros de lata, que cresciam à volta da indústria. Esta por sua vez proporcionou o surgimento de novos materiais e o desenvolvimento de outros, tais como o vidro, o cimento e o aço, materiais, padronizados e homogeneizados com a possibilidade de serem produzidos em série e vendidos a baixo preço. Em suma, todo este processo de evolução marcou o início da era das novas tecnologias construtivas, acabando por culminar na quebra e rotura dos

conhecimentos ancestrais e na construção baseada no clima e nos materiais locais (Aja et al. 2013).

As necessidades de habitação e a economia global, fizeram com que as empresas atuassem nos mercados internacionais, por sua vez, as leis da concorrência fizeram os preços variar levando a uma necessidade de padronizar a construção de uma forma mais económica, tudo isto, repercutiu na aquisição de infraestruturas de arquitetura moderna e ocidental, com materiais diferentes dos existentes nas suas áreas geográficas. A construção dita corrente propagou-se numa escala global, baseando-se na utilização de materiais de construção e técnicas, já referidas anteriormente (vidro, betão e aço), abdicando assim da utilização de materiais locais e de técnicas construtivas adaptadas, capazes de interagir com o clima local. A situação refletiu-se mais, quando a possibilidade de adquirir materiais de construção a preços mais baixos aumentou, tudo isto movido pelo consumo excessivo de combustíveis fósseis, indiferenciado e inconsciente, originando alterações e impactos geopolíticos. Pelo fato da relação entre a construção e o lugar se ter perdido, torna-se difícil distinguir se estamos numa cidade Asiática, Europeia ou Americana (Fernandes et al 2016).

A procura do conforto térmico no interior dos edifícios foi e sempre será uma das principais necessidades humanas, estabelecendo-se como fator determinante na construção das habitações desde os primórdios até aos dias de hoje. Contudo, numa época atual em que se revela urgente, cada vez mais, gerir de uma forma responsável o espaço construído, de modo a evitar impactos ambientais e a utilizar eficientemente os recursos energéticos, torna-se crucial poder fazer adaptações às edificações e ao clima, ao relevo, à iluminação natural, e para tal, é essencial estudar individualmente os fatores climáticos que caracterizam cada região, tal como a latitude, a longitude, a exposição solar e os ventos, bem como, os parâmetros que destes advêm, tal como, a humidade relativa, as temperaturas e as radiações solar. Sem este tipo de estudo, é impossível otimizar o conforto e o redimensionamento dos gastos energéticos nos edifícios (Gourgel et al 2012).

3.2 Clima e geometria solar

O clima é influenciado principalmente pelo sol, visto que a terra recebe quase toda a sua energia a partir desta estrela na forma de radiação. O nosso planeta move-se à volta do sol numa órbita elítica ligeira, e a sua distância ao Sol é, no máximo (aphelion), de 152 milhões de quilómetros e, no mínimo (perihelion), de 147 milhões de quilómetros. Importa ainda salientar que o eixo da terra não é perpendicular ao plano da sua órbita, mas sim, inclinado em cerca de 23,7° (Moita 2010).

As estações e os períodos anuais de insolação do ano no planeta devem-se a este ângulo de $23^{\circ}27'$ que o eixo da terra, do polo Sul e Norte, faz com o plano elíptico. Juntamente com o movimento de rotação da terra em 24 horas que define os períodos noturnos e diurnos e a variação de insolação no planeta. A variação do ângulo entre o plano equatorial terrestre e a linha terra-sol define as épocas do ano no hemisfério Norte da mesma forma mas de maneira oposta no hemisfério Sul, tal como representado na Figura 3.1, portanto, no quadrante norte quando o DEC ou inclinação do ângulo do planeta é igual a $+23,27^{\circ}$ a época do ano correspondente é o verão, com o solstício de verão a 22 de Julho, se o DEC igual a 0 as épocas do ano correspondentes são a primavera ou outono, também chamados de equinócios com primeiro a 21 de Março e o segundo a 22 de Setembro, sempre que o DEC iguala o $-23,27^{\circ}$, a época do ano correspondente é o inverno com o solstício de inverno a 22 de Dezembro (Moita 2010).

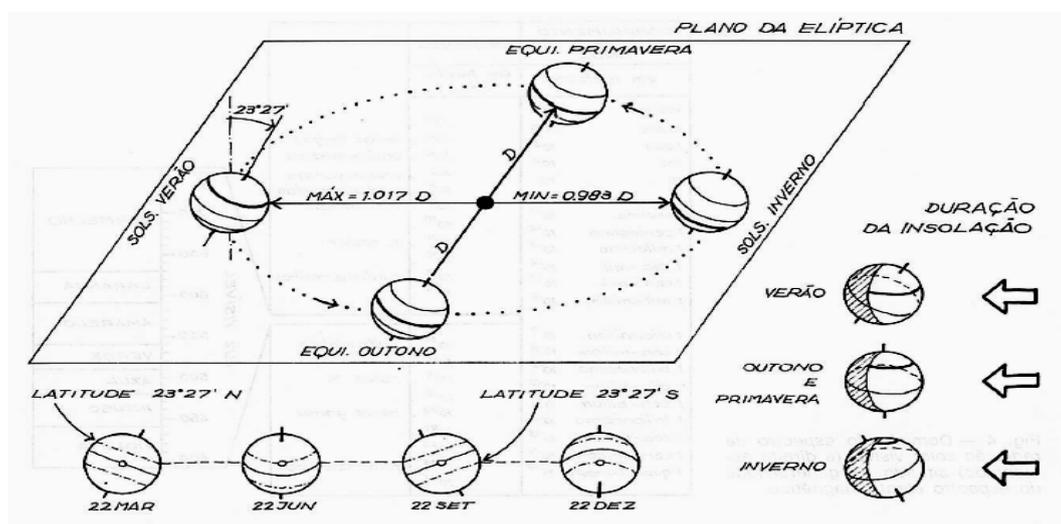


Figura 3.1 – Incidência solar na atmosfera terrestre (Moita 2010).

Na generalidade, globalmente os climas são formados pela incidência diferencial de calor solar e da emissão de calor sobre a superfície terrestre. É de referenciar que as regiões equatoriais recebem maior incidência de energia do que as áreas mais próximas dos Polos, tal facto deve-se à principal força condutora dos fenómenos atmosféricos (ventos, formação de nuvens e movimentos), que proporciona um mecanismo de transferência de calor do equador para os Polos, pois se esta transferência de calor fosse inexistente, a temperatura média no Pólo Norte seria de quarenta graus Celsius negativos -40°C , em vez de dezassete graus Celsius negativos -17°C e no Equador seriam aproximadamente trinta e três graus Celsius 33°C e não os vinte e sete graus Celsius 27°C . (Moita 2010).

A intensidade da radiação solar no planeta, depende da espessura da camada de atmosfera, que é atravessada pelos raios solares, a título de exemplo, temos os Polos onde os raios solares têm que atravessar uma camada atmosférica mais espessa, por conseguinte, a

radiação solar é mais reduzida relativamente ao Equador, em que a camada atmosférica a atravessar pelos raios solares é menor, logo será maior a potência da radiação incidente nessa parte do planeta. A quantificação da energia solar que incide diariamente num dado mês e ano sobre o planeta, depende da posição do sol no céu, mais propriamente do azimute e da altura solar. A intensidade da radiação solar depende da época do ano, das condições atmosféricas, da latitude e do ângulo de incidência solar (Moita 2010).

O sol é uma fonte de calor, e é importante compreender a sua interação com os edifícios, quer em termos energéticos (valores da radiação solar), quer em termos da sua posição ao longo de todo o ano. Das horas de insolação total anual e mensal, dependerá o cálculo da radiação global aproximada dada pela seguinte expressão: Radiação global = radiação direta + radiação difusa, medida em Wh/m², por dia, mês ou ano, necessária para a análise do contributo energético solar. Das interações do meio exterior envolvente com o espaço construído, resultam as trocas térmicas. É de salientar as que são feitas através do contato com o solo, por ventilação, envidraçados, cobertura e paredes, inclusive aquelas que são proporcionadas pela incidência de radiação nas envolventes opacas e envidraçadas. Estas trocas térmicas traduzem-se em ganhos e perdas pelas envolventes exterior dos edifícios, em que o resultado depende em muito da época do ano (Lima et al sem data).

Segundo Köppen-Geiger a classificação climática é fulcral para a seleção do lugar que vai ser construído, uma vez que se baseia no estudo da temperatura e da precipitação. Tendo em conta os parâmetros que definem esta classificação de zonas climáticas, a comparação entre as cidades constitui um elemento fundamental na identificação das suas características, bem como na definição dos seus aspetos comuns. A classificação climática de Köppen-Geiger identifica 5 grandes grupos climáticos, sendo cada clima representado por duas ou três letras em que a primeira letra representa cada um dos grandes grupos já referidos: Tropical (A), Árido (B), Temperado (C), Continental (D) e Glacial (E), que permite caracterizar na generalidade o clima de uma região. A segunda letra, estabelece o tipo de clima dentro do grupo, podendo ser minúscula nalguns casos e maiúscula noutros e esta relacionada com a pluviosidade: (S) clima das estepes com precipitação anual total média compreendida entre 380 e 760 mm, (W) Clima desértico precipitação anual total média <250 mm, (f) Clima húmido, ocorrência de precipitação significativa em todos os meses do ano, inexistência de estação seca definida e não existe inverno definido, (w) clima desértico e precipitação anual total média <250 mm, (w`) chuvas de verão e Outono, (m) clima de monção. A terceira letra é também minúscula e representa a temperatura média mensal do ar dos meses mais quentes, ou seja: (a) verão quente, (b) verão temperado, (c) verão curto e fresco, (d) inverno muito frio, (h) verão seco e quente, (k) verão seco e frio (Wikipédia 2016).

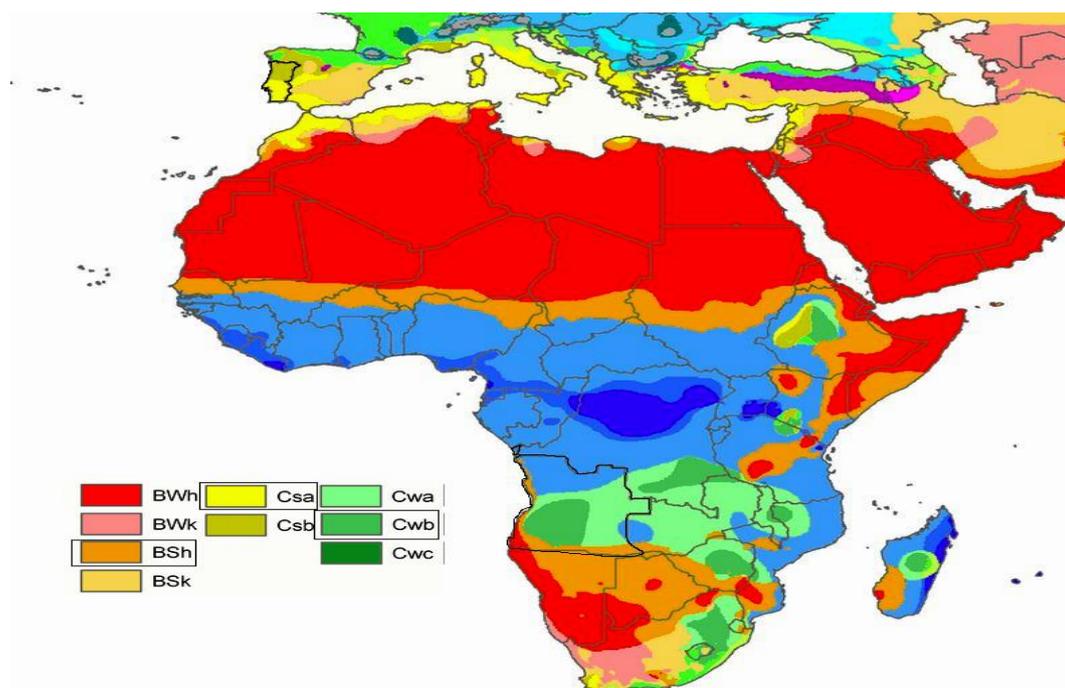


Figura 3.2- Clima mundial, segundo Köppen (Wikipédia 2016).

Portanto como pode ser verificado na Figura 3.2 a classificação Köppen refere que Coimbra tem um clima Csa ou temperado mediterrânico, com estação seca no verão, fria e húmida no inverno, uma pluviosidade média anual de 922 mm e uma temperatura média de 16.1 °C. Lubango tem um clima Cwb ou subtropical de altitude, caracterizado como temperado húmido com inverno seco e verão temperado. Chove muito mais no verão que no inverno, tem uma pluviosidade média anual de 860 mm e uma temperatura média de 18.1 °C. Luanda, tem um clima Bsh, predominante conhecido como um clima semiárido ou de estepe local no qual ao longo do ano existe pouca pluviosidade, com uma média anual de 439 mm e temperatura média é de 24.4 °C (Climate-Data.org. Acedido Fevereiro 11, 2016).

3.3 Parâmetros climáticos mais influentes na construção

Na arquitetura bioclimática estudam-se as variáveis (climáticas) básicas subjacentes, como a radiação solar, a orientação solar e os ventos, analisa-se as temperaturas (médias, máximas e mínimas e suas amplitudes), a precipitação e a humidade relativa média mensal, transformando-se estes parâmetros em dados básicos para a caracterização do clima de cada cidade e dos requisitos necessários para o desenho das habitações. O conhecimento destas variáveis é útil para o desenho dos espaços e para a seleção de materiais mais adequados. A radiação solar é analisada de acordo com a média mensal do número de

horas de sol, complementando este aspeto com as diversas alturas do sol e os azimutes nos solstícios de inverno e verão (Aja et al. 2013).

A observação da rosa-dos-ventos, especialmente no inverno e no verão, permite determinar as direções dominantes do vento em cada estação. Esta informação pode ser integrada no desenho dos espaços livres, promovendo a sua proteção e ventilação (Aja et al. 2013).

A temperatura do ar, a humidade, a velocidade do ar, a radiação solar e a insolação são as variáveis climáticas que influenciam o desempenho térmico e condicionam o conforto dos edifícios. Na temperatura do ar, estão estabelecidas as médias mensais: máximas e mínimas, das quais depende a formulação do parâmetro “graus-dias”, fundamental para perceber as necessidades energéticas responsáveis pelas trocas e fluxos de calor que se dão no edifício. Quanto maior for a humidade relativa do ar, pior será o comportamento térmico das fachadas dos edifícios, o que contribui para a formação de ambientes higrotérmicos desconfortáveis. A velocidade do ar, é uma condicionante importante, e estabelece o coeficiente de condutância térmica superficial exterior, tal como as infiltrações de ar que ajudam no comportamento higrométrico das fachadas e na ventilação natural do edifício. A radiação solar é determinante no conforto térmico de qualquer edifício, visto que no inverno constitui uma fonte de calor muito importante, aumentando a temperatura interior, enquanto no verão será uma fonte de calor a evitar no interior dos edifícios. Das horas de insolação total anual e mensal, dependerá o cálculo da radiação global (aproximada) necessária à análise do contributo energético solar (Moita 2010).

Portanto, poder-se-á considerar a orientação das fachadas em função destes fatores climáticos, dispensando na maioria dos casos o uso de dispositivos artificiais para aquecimento ou meios eletromecânicos para arrefecimento, assim como o ar condicionando. Resumindo, os parâmetros climáticos mais influentes e os aspetos que os evidenciam são; A temperatura do ar que depende das temperaturas médias mensais, mínimas e amplitudes térmicas e vão influenciar os graus dias necessários para o cálculo das necessidades energéticas; Humidade relativa do ar que depende da relação da pressão de vapor de ar em condições de equilíbrio e saturação, com elevados teores de humidade relativa verifica-se desconforto nos espaços habitados; Direção do vento, dependendo da localização do edifício assim vai ser a condutância térmica superficial exterior (h_e), infiltrações de ar e ventilação natural do mesmo; Radiação Solar, depende da radiação global (radiação direta + radiação difusa) em Wh/m (por dia, mês ou ano) vai suscitar a absorção direta das envolventes exteriores dos edifícios manifestando-se em ganhos térmicos; Insolação, depende das horas de insolação total anual e mensal é importante para o cálculo da radiação global crucial no contributo energético solar. Todas estas variáveis vão ser relevantes para o estudo da ventilação natural, da reflexão da radiação solar, do sombreamento, da desumidificação do ar, e para o aquecimento passivo em edifícios. Podendo ser utilizados individualmente ou coletivamente dependendo das condições climáticas locais (Lanham et al 2004).

O conforto interior e a eficiência energética dos edifícios vão depender sempre do desempenho e comportamento termo higrométrico da envolvente exterior opaca e envidraçada. No que lhe concerne, o comportamento higrotérmico das mesmas, depende do clima ou lugar onde estão inseridos, desta forma, podem-se definir conceitos básicos como a orientação do edifício, a localização e a geometria, bem como as formas construtivas com sistemas de captação solar, ventilação e proteção solar, de forma a otimizar o conforto e o consumo energético interior (Gonçalves et al 2006).

3.4 Projeto bioclimático

Projetar edifícios tendo em consideração as condições climáticas específicas do local, a utilização de recursos gratuitos (sol, vegetação, chuva, vento) para reduzir os impactos ambientais e melhorar a eficiência energética são conceitos que estão na base da arquitetura bioclimática, que se rege por princípios e estratégias onde o equilíbrio, a harmonia e o ambiente são variáveis dependentes umas das outras. Pretende-se atingir um elevado nível de conforto térmico considerando as condições climáticas e ambientais para ajudar a assegurar o conforto térmico interior através da adequação da geometria, orientação e a adaptação do edifício às condições climáticas específicas do seu ambiente. Assim sendo, poder-se-á definir uma orientação correta para as fachadas dos edifícios, como sendo aquela que vai otimizar os ganhos solares, adequando-os às estações do ano com a sua maximização na estação de aquecimento e minimização dos mesmos na estação de arrefecimento (Gonçalves, et al 2004; Esteves 2009).

As estratégias bioclimáticas para projetar edifícios de acordo com o clima e o local têm como princípio:

- A. A orientação das fachadas dos edifícios em relação ao sol e aos ventos, considerada ótima, a Sul nos casos de Portugal, e ótima a Norte nos casos de Angola;
- B. Forma arquitetónica, arranjos espaciais dos compartimentos interiores e espaços exteriores;
- C. Condições ambientais, tipo de vegetação, massas de água, ruído e formas de tratamento. Estudar o contributo e influência que as massas de água, árvores exteriores e edifícios vizinhos têm no desempenho energético das habitações quando localizados nas proximidades do local de construção.

- D. Baixa transumância da envolvente, elevada espessura de isolamento. Envidraçados de baixa emissividade e caixilharias com corte térmico e estanques;
- E. Tipo de proteção solar, com dispositivos de proteção tal como; Palas verticais ou horizontais, vegetação ou outros edifícios;
- F. Ventilação natural para arrefecimento dos espaços interiores dos edifícios no verão, e melhoria da qualidade do ar interior;
- G. Forma e Volume dos edifícios. A relação entre a superfície e o volume interior, influencia as trocas energéticas entre o edifício e o exterior. Quanto mais compacta for a forma do edifício (com poucas reentrâncias e saliências) menos perdas terá pela envolvente exterior;

A orientação do edifício tendo como diretivas, o máximo aproveitamento da radiação solar durante o inverno e menor incidência possível no verão, bem como os ventos dominantes devem ser considerados, no caso de ventilação natural do edifício. A exposição e proteção solar, recai na análise da carta solar estereográfica para projetar adequadamente a fachada em cada orientação. Projetar os elementos de proteção solar tendo em consideração a altura solar no verão e no inverno de forma a utilizar a radiação solar de forma efetiva. Distribuição dos espaços, é aconselhável localizar os compartimentos menos ocupados nas zonas mais expostas para que estes possam funcionar como “espaços de amortecimento térmico” (Gonçalves et al 2004).

3.4.1 Orientação do edifício

Para que os edifícios obtenham uma radiação solar ótima tanto de inverno como no verão, as fachadas com maior superfície devem estar orientadas a Sul, caso estes estejam localizados no hemisfério Norte. Contrariamente, a melhor orientação das fachadas com maior superfície no hemisfério Sul, será a Norte. Os edifícios situados em zonas desprotegidas, húmidas, de fraca exposição solar para obter o conforto térmico no inverno terão de efetuar grandes consumos energéticos ou utilizar técnicas construtivas bastante específicas para aquecimento e desumidificação (Pinheiro 2006).

O exemplo seguinte, representado na Figura 3.3, mostra um edifício bem orientado em Portugal, em que uma das fachadas de maior superfície, está viradas a Sul, favorecendo assim os ganhos solares no inverno e colmatando as necessidades de aquecimento, contudo, dispõem também de sombreamento para evitar o excesso de ganhos solares, o que impede o aquecimento excessivo no verão. No mesmo exemplo está representado um edifício mal orientado, com uma das fachadas de menor superfície virada a Sul o que não

permite da incidência solar no inverno, e as de maior superfície viradas a Este e Oeste o que potencia o sobreaquecimento dos espaços interiores no verão devido à excessiva exposição solar (Moita 2010).

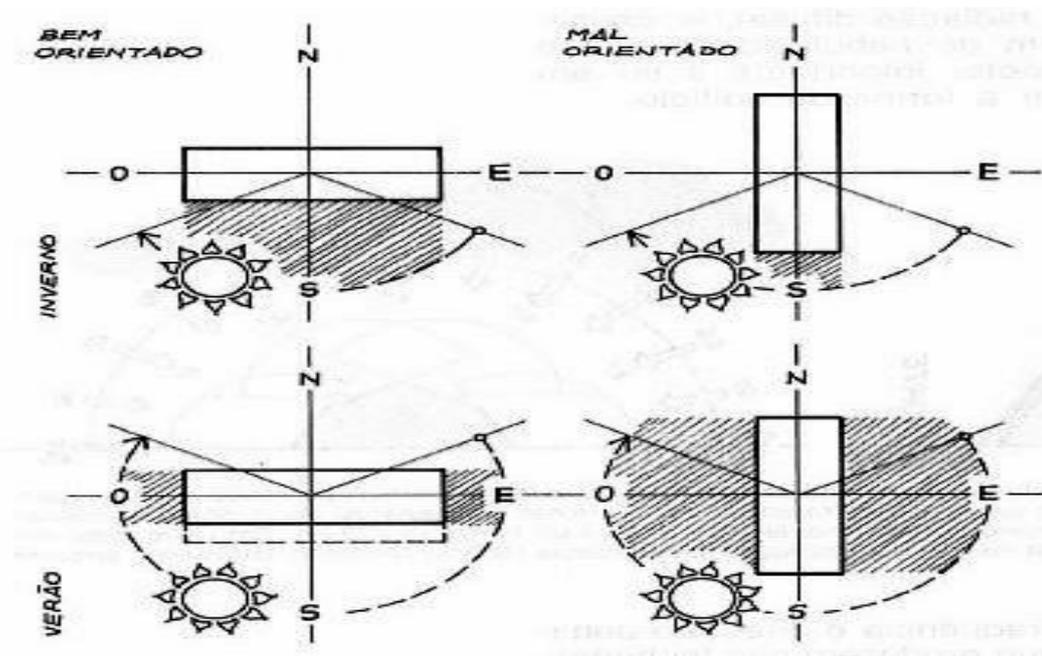


Figura 3.3 - Exemplo de orientação de edifícios em Portugal (Moita 2010).

No quadrante de Portugal, um edifício mal orientado é aquele que tem as fachadas com maior superfície orientadas a Norte e a Este, o que reflete no inverno um edifício mais frio pelo facto de estar exposto a pouca radiação solar. Por outro lado, este edifício será muito mais quente no verão, pois vai incidir sobre este, a máxima radiação solar na fachada principal. Um edifício bem orientado, com dispositivos de sombreamento, consegue anular as radiações excessivas a Sul. Mediante estes fatores, a disposição dos compartimentos interiores dos edifícios vão ser organizados conforme a exposição das fachadas às radiações solares e aos ventos dominantes. Assim, os compartimentos situados a Norte devem funcionar e ter funções secundárias tal como despensas, escadas, arrecadações, corredores, garagens, etc. Enquanto a Sul, devem funcionar os compartimentos com funções principais, como os quartos, as salas e as cozinhas.

A Figura 3.4, mostra exatamente, o que já foi referido anteriormente, a melhor orientação para Angola, sendo a que expõe as fachadas de maior superfície do edifícios a Norte, no entanto aceitável uma variação até 45° (entre Nordeste e Noroeste), por ser a orientação que produz menor incidência solar nas mesmas, logo menor sobreaquecimento dos espaços interiores (Guedes 2011).

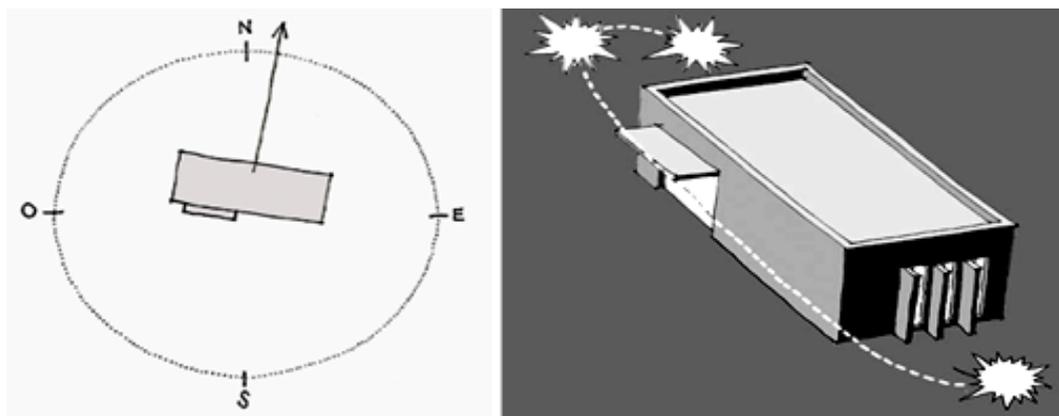


Figura 3.4 - Orientação solar em Angola, virada a norte (Guedes 2011).

3.4.2 Forma e localização

As perdas térmicas nos edifícios vão ser influenciadas pela sua forma, ou seja, quanto menos saliências e reentrâncias tiver e mais compacto for, melhor será o seu balanço térmico global. As perdas térmicas diminuem com o aumento de volume, sendo estas diretamente proporcionais ao coeficiente de formas (A_e/V). A forma e a orientação do edifício devem ter em consideração os efeitos aerodinâmicos, provocados pelos ventos dominantes quando estes são fortes e constantes, a título de exemplo, a Figura 3.5 mostra como a forma dos edifícios influencia o fluxo dos ventos nas fachadas exteriores, por conseguinte, a escolha do lugar, da forma e da orientação do edifício são variáveis importantes a considerar para que os edifícios possam beneficiar do trajeto solar e dos ventos dominantes (Moita 2010).

Os edifícios construídos junto a grandes massas de água vão ter de um melhor comportamento térmico, pelo facto de estas terem uma grande capacidade de acumulação de calor e inércia térmica, o que implica localmente baixas amplitudes das temperaturas diárias. Nos centros urbanos podem se obter também baixas amplitudes térmicas tanto nos espaços públicos, como dentro dos edifícios, desde que as disposições destes sejam feitas com requisitos de planeamento urbanístico e paisagístico adequado (Moita 2010).

Em climas quentes como Angola, a implantação dos edifícios em locais com exposição a ventos dominantes é essencial para uma ventilação eficiente. Em regiões montanhosas os edifícios devem ser implantados nas zonas mais baixas da montanha, acima dos leitos das ribeiras e favorecer o lado da encosta que beneficie de mais horas de sombra. Nas zonas junto ao litoral, para diminuir os ganhos solares nas fachadas viradas para o mar, as proteções com alpendres de grande dimensão e vegetação exterior são essenciais (Guedes 2011).

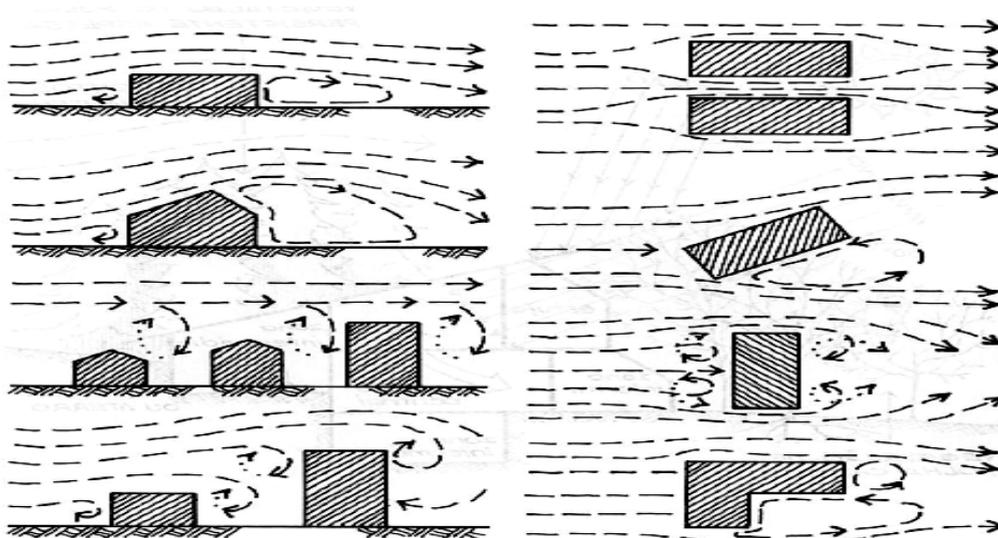


Figura 3.5 - Formas de edifícios e sua resposta aos ventos dominante (Moita 2010).

Em suma, os edifícios com grande volumetria, não só têm menores perdas de calor pela envolvente opaca, como também têm maiores ganhos por cargas internas, devido à produção de energia resultante da atividade dos ocupantes, da iluminação e dos equipamentos (Gonçalves et al 2004).

3.5 Arquitetura solar passiva

A casa solar é construída com base no clima, considerando os diferentes dados climatológicos de cada região, nomeadamente através de formas de construção que consigam maximizar e otimizar o conforto interior. A título de exemplo, a energia solar térmica pode ser aproveitada naturalmente, por condução, convecção e radiação, sem recorrer a meios mecânicos para aquecimento dos compartimentos com melhor exposição solar, contudo, quando estes ganhos solares não são otimizados conjuntamente com outros dispositivos, que controlem a sua entrada, de acordo com a altura solar ao longo do ano, como por exemplo, dispositivos de sombreamento e ventilação, poder-se-á originar um excesso de contribuição dos ganhos solares que, por sua vez, geram problemas de conforto e mau estar dentro das habitações (Esteves 2009).

Em suma, os ganhos solares, as humidades e os ventos vão ser regulados com sistemas construtivos solares passivos. À vista disso, vão influenciar o comportamento térmico das envolventes opacas dos edifícios, mediante dispositivos de isolamento, ventilação natural, sombreamentos móveis ou fixos, tratamentos especiais e fenestração.

3.5.1 Sistemas de captação

São sistemas construtivos de um edifício, constituídos por componentes ou conjunto de componentes, cuja principal função é captar a energia da radiação solar e transferir para o interior de um espaço sob a forma de calor. Os sistemas de captação só funcionam se toda a envolvente estiver convenientemente isolada, se os materiais constituintes apresentarem uma elevada inércia térmica e se forem combinados com outros sistemas, tais como, dispositivos de proteção solar ou de ventilação natural. Existem quatro tipos de sistemas de captação solar, tais como, os sistemas diretos, semidirectos, indirectos e independentes.

Sistemas diretos, consiste na introdução dos ganhos solares diretamente no interior do espaço através das superfícies envidraçadas (janelas, claraboia e prateleiras solares) uma vez no interior, a radiação solar é absorvida pelas superfícies interiores, aquecendo-as, este tipo de sistema, é coerentemente combinado com isolamento noturno (persianas e portadas isoladas), dispositivos de proteção solar e ventilação natural para garantir o controlo do balanço térmico, deste modo a envolvente interior deve ser constituída por matérias com capacidade para armazenar energia (grande inercia térmica). Os Sistemas semidirectos ou mistos, são sistemas em que é inserido um espaço coletor entre o interior e o exterior (estufas), conduz a uma elevada entrada de radiação, e desta forma atingem-se temperaturas médias muito mais elevadas do que as temperaturas exteriores, podendo estes espaços, ser temporariamente habitado, atuando como uma extensão do interior, por conseguinte, o sistema é constituído por duas zonas térmicas uma direta e a outra indireta. Nos Sistemas indirectos a captação da radiação solar é feita através de um elemento de armazenamento (paredes coletoras de betão ou água, Trombe Wall) que depois transfere a energia para o interior, a energia radiante depois de atravessar o vidro é absorvida como calor por um elemento de elevada capacidade térmica, a partir deste elemento, o calor é transferido para o espaço interior como uma grande onda de condução e convecção, com um atraso e uma redução significativa da oscilação da temperatura. Nos sistemas independentes os elementos de captação e de acumulação podem tornar-se independentes entre si e do espaço climatizado, onde a transferência de calor entre diferentes elementos é efetuado através de um fluxo de ar ou de água que por convecção circula através de condutas, os equipamentos de regulação e de controlo são incorporados, a título de exemplo, temos os painéis solares para aquecimento de águas e captadores de ventilação natural com recuperador de calor (Moita 2010; Niza et al 2016).

3.5.2 Inércia térmica

Define-se inércia térmica, como a capacidade que os elementos têm em conservar e libertar a energia térmica, progressivamente. Depende de fatores, tais como, a condução térmica do

material, o seu volume, a densidade e o calor específico. A admitância térmica ou inércia térmica representa a capacidade que a massa de um determinado material tem em absorver ou trocar grandes quantidades de calor através da sua superfície. Materiais com grande inércia térmica têm pequenas variações de temperatura, uma vez que, a sua estabilidade térmica é maior em relação ao ar com que está em contacto. Esta característica faz com que estes materiais libertem o calor acumulado durante o dia no seu interior, no período noturno. A inércia térmica nos edifícios tem vantagens consideráveis: ajuda a acumular a energia solar incidente no interior dos elementos, evitando variações excessivas de temperatura, assim como o aquecimento do ar interior por condução. A inércia térmica conjuga dois fenómenos: o atraso térmico (ϕ), que define o tempo que o fluxo de calor demora, a atingir de um lado ao outro da envolvente, e o amortecimento (μ), que consiste na capacidade de um elemento para amortecer e reduzir a amplitude das variações térmicas. Edifícios com baixa inercia térmica durante a exposição solar vão aquecer rapidamente os espaços interiores, arrefecendo também rapidamente durante a noite, a título de exemplo, como na Figura 3.6. Todavia, em edifícios com grande inercia térmica o aquecimento e o arrefecimento dos espaços interiores é progressivo. A inércia térmica depende assim, do tipo de materiais utilizados na construção da envolvente e da sua espessura (Silva 2009).

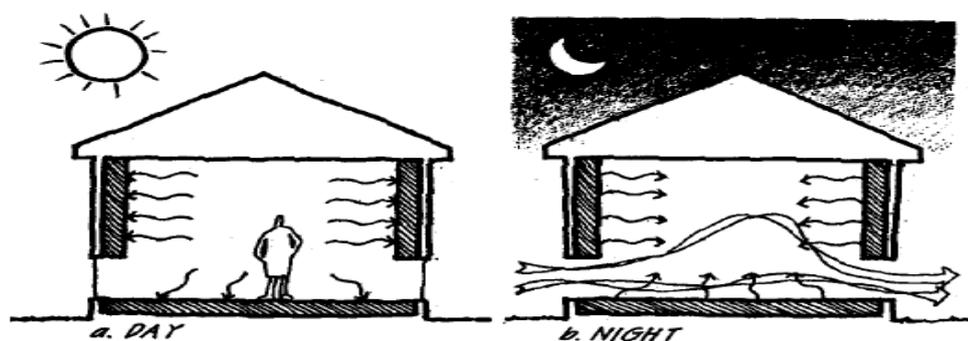


Figura 3.6 - Arrefecimento noturno da massa térmica por ventilação (Silva 2009)

Os sistemas de inércia térmica são partes ou componentes de um edifício, distinguidos pela sua massa superficial útil, que atuam como estabilizadores das temperaturas interiores, reduzindo as variações das mesmas. O princípio de funcionamento deve-se à capacidade que os materiais constituintes do edifício têm em armazenar calor para determinados ciclos de tempo e flutuações moderadas, tornando-os adequados tanto para efeitos do frio, como do calor (Ramos 2002). A título de exemplo, pode-se utilizar inércia térmica na construção maciça com paredes de elevada espessura, constituídas por materiais densos, estrutura em pórtico com vigas, pilares e lajes maciças, com o objetivo de durante a noite, no inverno as temperaturas armazenadas durante o dia se dissiparem para o interior. Como a propagação do calor, ou transferência térmica ocorre do corpo mais quente para o mais frio, no verão, com ventilação noturna, vamos ter uma maior dissipação do calor acumulado, durante o

período diurno, da envolvente opaca para o exterior. O armazenamento de energia térmica em aquíferos, proporciona aos edifícios construídos junto a grandes massas de água, conforto térmico, pelo facto, de terem enormes capacidades de acumulação de calor, o que implica localmente baixas amplitudes das temperaturas diárias. Por último, com um processo de fabrico mais recente e artificial os PCM(s), são materiais que fazem transferência de calor através da mudança de fase ou calor latente mudam do estado sólido para líquido e vice-versa desse modo, armazenam e libertam grandes quantidades de calor latente, cada vez que mudam de fase (líquido armazenam, sólido libertam) (Niza et al 2016).

3.5.3 Isolamento térmico

O isolamento térmico da envolvente opaca é uma das medidas mais simples para proteger um edifício contra os ganhos de calor excessivos, durante os períodos mais quentes, bem como prevenir as perdas de calor por condução do interior para o exterior durante os períodos mais frios. O isolamento térmico deve ser considerado, tanto ao nível da envolvente opaca, como nas áreas de vãos envidraçados, visto que estes são os principais pontos, de ganhos e perdas, excessivos de calor, tanto no verão, como no inverno. A utilização de isolamento térmico previne a condensação de vapores nas paredes mais frias das habitações, assim como melhora a resistência das paredes e corrige as pontes térmicas planas no caso de paredes combinadas com pilares e vigas constituídos por material não isolante. Dependendo do efeito desejado, podem-se escolher diferentes tipos de isolamentos com características de resistência mecânica, à humidade, ao fogo e às altas temperaturas, assim como aos fatores biológicos (Moita 2010).

Em edifícios com ocupação noturna, por exemplo, como em hotéis, o isolamento eficaz é aquele que é aplicado pelo exterior, pois cobre toda a superfície da envolvente exterior, minimizando perdas e ganhos indesejáveis. Este tipo de soluções permite estabilidade no conforto cíclico diário, devido ao efeito de inércia térmica da envolvente interior (paredes, pilares vigas e lajes). Em edifícios de serviços com utilização diurna, climatizados, existem vantagens em utilizar isolamentos pelo interior das paredes, pois a temperatura de conforto pode ser atingida mais rapidamente devido aos equipamentos de climatização. Porém, neste tipo de soluções existem mais dificuldades em se prevenir pontes térmicas planas, assim como, não permite o aproveitamento da inércia térmica interior, todavia, deve ser impermeável à água e permeável aos vapores, sendo este fator importante para reduzir a humidade relativa causada pela presença humana. A aplicação de material isolante nas partes enterradas e pavimentos em contacto com o solo torna-se particularmente vantajoso, pois impede as perdas de calor através dos solos húmidos, tratando-se inclusive de uma das primeiras medidas de isolamento a tomar na envolvente opaca, tal qual apresentado na Figura 3.7 (Moita 2010).

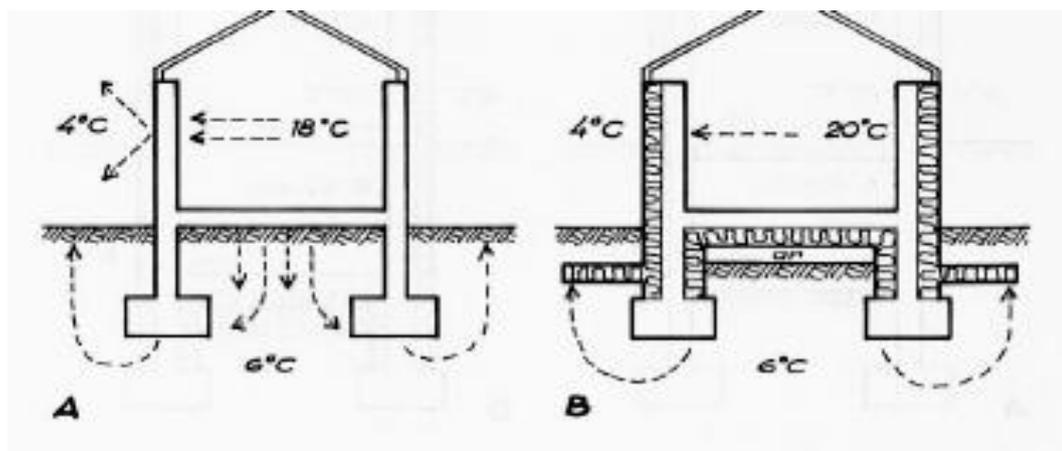


Figura 3.7 - Isolamento exterior na envolvente de um edifício (Moita 2010).

3.5.4 Fenestração

Um controlo da fenestração mal executado, habitualmente, gera deficiências construtivas que estão na origem de perdas energéticas até 35% das necessidades dos edifícios. Essencialmente, existem dois tipos de consequências associadas à má execução e deficiência de vão envidraçados, que são, as perdas de calor resultantes de infiltrações de ar frio no inverno através de frinchas mal calafetadas, assim como, ganhos excessivos de calor durante o verão pelo envidraçado, se este tiver um coeficiente de transmissão térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) elevado. O mesmo acontece com todos os materiais e soluções constituintes nas envolventes expostas às intempéries exteriores. (AREAM 2016).

Os coeficientes de transmissão térmica dos vidros podem ser consideravelmente reduzidos com a aplicação de vários elementos, sobretudo com a utilização de vidros duplo ou triplos com caixa-de-ar, persianas exteriores ou interiores, lonas, estores ou cortinas, a título de exemplo, na Figura 3.8 seguinte estão representadas soluções construtivas com vidro simples, duplo e reflexivo, e as respetivas percentagens de radiação e luz que recebem e refletem. Neste sentido, quanto maior for a espessura da caixa-de-ar de um vidro duplo, melhor será o seu isolamento térmico. Pode-se ainda, utilizar vidros com baixo fator solar, preparados para atenuar os ganhos solares indesejados no inverno e no verão, reduzindo a penetração de radiação solar excessiva que torna as habitações incómodas a habitar, estes podem ser reflexivos, cuja função será filtrar os raios ultravioletas, através de propriedades de reflexão da radiação solar. Existem ainda soluções com vidros de alto fator solar não espelhados, que deixam passar a luz do espectro visível, assim como, vidros laminados que melhoram o isolamento acústico, contudo, não filtram os raios ultravioletas (os raios indesejados). De forma sucinta, os vidros duplos são recomendados para todos os cenários climáticos, nomeadamente em zonas frias, sendo que a espessura da caixa-de-ar do vidro

duplo deve ser considerável, podendo até ser preenchida com gases, como o argón. Em zonas como Angola, com grande incidência de radiação solar, é importante evitar grandes vãos envidraçados na envolvente exterior, não devendo ultrapassar os 40% da área da fachada virada a norte e a sul, inclusive, os 20% a Nascente com sombreamento, sendo que a poente devendo ser completamente evitados (Guedes 2011).

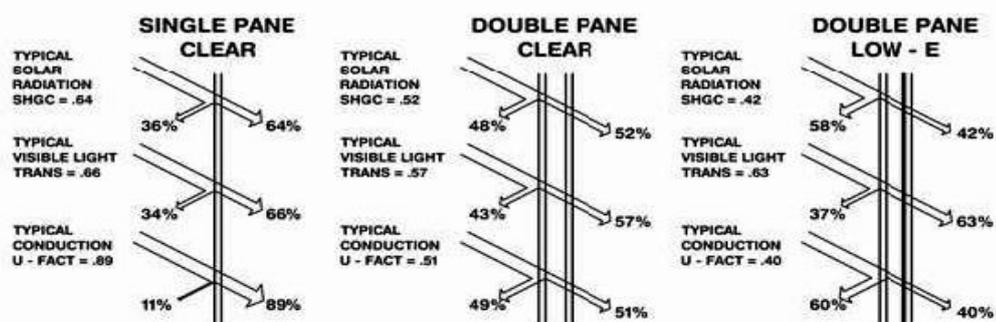


Figura 3.8 - Tipo de vidro e as percentagens de radiação, luz e transmissão (UCLA 2014).

As propriedades dos vãos envidraçados e os seus componentes, vão influenciar a condução térmica na envolvente exterior, que dependerá da orientação dos mesmos, bem como os dispositivos de proteção solar, a ventilação natural e a iluminação natural nos edifícios, sendo todos estes, aspetos importantes para o bom desempenho energético e para o conforto interior. Interessa que, estes promovam o aquecimento solar coerente e evitem as perdas de calor pelos envidraçados, devendo ser escolhidas caixilharias com propriedades isolantes durante o inverno e que obstruam os ganhos solares excessivos, seja por propriedades reflexivas dos vidros ou pela ajuda de dispositivos de proteção solar (AREAM 2016).

3.5.5 Ventilação natural

A ventilação é essencial para preservar a qualidade do ar interior, evitar problemas de saúde e patologias nos edifícios. Portanto, deve-se garantir uma renovação mínima de ar dentro dos edifícios. A admissão de ar nos edifícios para a ventilação natural é, normalmente, feita através de grelhas nas fachadas e nas caixilharias, com ou sem dispositivos de regulação. No entanto, estas grelhas devem ser autorreguláveis, para assegurar que a admissão de ar seja controlada, evitando assim, perdas de calor excessivas no inverno e ganhos excessivos no verão. Poder-se-á minimizar ou até prescindir da utilização de ar condicionado se forem introduzidos, nas envolventes dos edifícios, dispositivos de admissão de ar de modo a promoverem a ventilação natural, podendo esta ser também realizada através das janelas, claraboias ou outras aberturas específicas. O propósito final é remover cargas térmicas e evitar o sobreaquecimento dos espaços

interiores. As soluções construtivas para a ventilação natural, frequentemente, seguem um princípio em que a entrada de ar é feita a um nível inferior e as saídas podem ser localizadas junto aos tetos ou pisos superiores, ou ainda convergindo para uma caixa de escadas. O princípio da ventilação natural sem recurso a meios mecânicos para insuflação de ar exterior, assenta na diferença de pressão causada pelo fluxo de ar gerado nas aberturas dos edifícios, por sua vez permite a entrada de ar e saída através das mesmas com circulação de ar no interior. Efetivamente, este processo resulta da ação direta dos ventos sobre as edificações, contudo, estes podem criar desconforto sobretudo em lugares onde os ventos são dominantes, assim sendo, poder-se-á atenuar este efeito com a utilização de vegetação e com a aplicação de sistemas de captação de vento e de admissão de correntes de circulação de ar para arrefecimento. (Gonçalves et al 2004).

Para uma correta ventilação em edifícios, deve-se ter em atenção a combinação de parâmetros, tais como: A dimensão e o tipo de aberturas na envolvente exterior para admissão do ar, a sua localização vão ser importantes no controlo da quantidade e fluxo do ar admitido nos edifícios. Assim sendo, as aberturas para entrada de ar devem ser colocadas nas zonas de alta pressão, onde os ventos dominantes são incidentes e as saídas em zonas de baixa pressão, normalmente nas fachadas opostas. Obtêm-se melhores resultados de ventilação natural, quando as entradas são mais pequenas do que as saídas, visto que, este aspeto aumenta a velocidade dos fluxos de ar, similarmemente, pode-se optar pela colocação de palas na zona de entrada para redirecionar os fluxos de ar.

A ventilação natural divide-se em duas categorias, a ventilação transversal e a unilateral. A primeira tem apenas aberturas em um dos lados da fachada e a segunda apresenta aberturas em ambos os lados do edifício, fazendo um percurso do fluxo de ar dentro do edifício muito mais abrangente. Pode-se ainda considerar a utilização de torres de vento, para captar o ar exterior, se o edifício não se encontrar em uma posição favorável para captar ventos dominantes, sendo que estes dispositivos canalizam qualquer tipo de vento (Silva 2009).

Existem outros processos de fazer circular o ar, tal como, a ventilação cruzada definida por um sistema de ventilação natural de um espaço ou de um conjunto de espaços, em que a admissão de ar é feita através de aberturas colocadas em duas paredes opostas. O Efeito chaminé em que a entrada do ar feita através de aberturas em diferentes níveis que vão gerar um fluxo de ar ascendente que retira o ar mais quente através de uma coluna ou conduta vertical para aberturas zenitais superiores situadas na cobertura. O coletor termossifão, sifão térmico ou chaminé solar envidraçada é um mecanismo que utiliza a energia da luz solar para extrair o ar, a sua função é o aquecimento do ar no interior de uma câmara, por meio de uma superfície escura protegida por uma cobertura de vidro, quando o ar é aquecido, a sua densidade diminui forçando o ar a sair. Torres de vento formado por um sistema que introduz o ar num edifício através de uma torre de vento que o capta a uma determinada altura acima da cobertura, onde este é mais intenso. O ar é transportado por

uma conduta que pode ser introduzida na parte inferior dos espaços e pode ainda incorporar dispositivos de tratamento de ar. Também, os sistemas de ventilação enterrados que tiram proveito da inércia térmica do terreno para fornecer ar fresco em períodos quentes, através de um sistema de tubos subterrâneos, passando por condutas o ar é arrefecido antes de entrar no edifício. É um sistema adequado para climas com altas temperaturas. A Torre evaporativa é constituída por um sistema de tratamento que também introduz ar no interior de um espaço este entra através da parte superior da torre é arrefecido por meio de evaporação da água.

3.5.6 Sombreamento e proteção solar

O sombreamento em edifícios é uma técnica de proteção solar dos vãos envidraçados e da envolvente opaca que, conjuntamente com o dimensionamento correto de janelas, isolamento térmico e revestimento reflexivo visa limitar a entrada excessiva de energia solar e reduzir ganhos de calor através dos mesmos. As janelas constituem um ponto de pouca resistência aos raios solares, é onde se dão as maiores incidências e a captação de luz solar. Consequentemente, proteger a envolvente opaca e os vãos envidraçados com dispositivos de sombreamento deve estar originalmente integrado no projeto, sendo que esta solução vai minimizar grande parte das necessidades de arrefecimento e de luminosidade dos edifícios. Em síntese, como estratégia para arrefecimento e redução das necessidades de verão, o sombreamento é uma resposta eficaz e deve impedir a entrada de raios solares indesejados. No inverno, deve impedir o aumento de calor devido aos efeitos de condução e apresentar um dimensionamento ótimo com o intuito de redirecionar os ventos, permitindo assim a ventilação adequada dos espaços. Os dispositivos de sombreamento podem ser exteriores e interiores, fixos ou móveis, inclusive, podem ser sistemas avançados de controlo solar que funcionam através de sensores automatizados ou programáveis (Guedes 2011).

Existem vários exemplos de dispositivos fixos exteriores, tal como, as palas horizontais, verticais ou mistas. Este tipo de dispositivos muitas das vezes são partes da estrutura ou componentes construtivas de um edifício, tal como varandas, alpendres, pérgulas, corredores, passadiços exteriores, caixas de escadas exteriores ou, até mesmo, de parte da envolvente avançada ou recuada. Os dispositivos lamelares de proteção podem ser fixos ou móveis, dispostos na vertical ou na horizontal. Este tipo de dispositivo tem vindo a ganhar “terreno”, no que diz respeito ao sombreamento de fachadas e de vãos envidraçados, pois podem ser projetados por arquitetos de uma forma personalizada, visando o encaixe arquitetónico e são dimensionados de acordo com as cartas solares do local de construção, a título de exemplo, a Figura 3.9 seguinte uma habitação projetada com dispositivos de proteção fixa pelo arquiteto Le coubusier. Os materiais utilizados são diversos, dependem da opção do projetista e vão desde o alumínio à madeira ou ainda a partes da estrutura de betão, dimensionada e executada com a mesma. Existem possibilidades de revestimento

com sistema de proteção solar normalizada (fachadas técnicas), que funcionam em simultâneo, como revestimento exterior e como dispositivo de proteção solar, podendo, neste caso, ser fixas ou móveis. Encontram-se, em variadíssimas formas e soluções, executadas em metal, vidro, madeira, painéis fotovoltaicos e painéis prismáticos (Palhinha 2009).

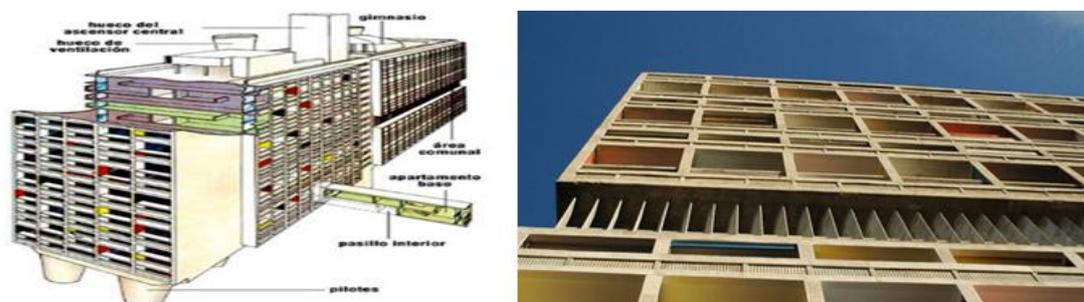


Figura 3.9 - Habitação de Marselha por Le Corbusier (wikiarquitectura 2015).

Para perceber qual o efeito que a obstrução solar (horizontal, vertical, mista e lamelar) vai causar nos vãos envidraçados ou nas fachadas, ter-se-á que recorrer à carta solar da região que, de acordo com a latitude, mostra a inclinação e o percurso solar no lugar de implantação, e por conseguinte o tipo de radiação a que um edifício vai ficar exposto. O comprimento ou a largura do dispositivo de proteção solar vai depender dos ângulos que este faz com a horizontal e com a vertical, bem como do tipo de sombra que este vai produzir durante as várias horas do dia nas diferentes estações do ano. Deste modo, podemos controlar a entrada de raios solares no edifício, de acordo com o pretendido, maximizando os ganhos solares durante o inverno e restringindo-os durante o verão e nas horas de maior incidência. Em suma, as opções para proteção solar móveis têm a vantagem de se poderem regular de modo a estarem abertas na estação de aquecimento e fechadas na estação de arrefecimento. No que se refere, a soluções fixas (palas e lamelas), a obstrução solar tem que ser a adequada à movimentação solar durante o ano, importando uma análise através das cartas solares, respeitantes ao local onde está implantado o edifício, para perceber a influência que os dispositivos vão ter na entrada ou na restrição de raios solares durante as estações do ano (Aja et al. 2013).

3.6 Conforto termo higrométrico

O conforto é um parâmetro muito difícil de avaliar, depende de diversos fatores como a atividade física desenvolvida, o nível de vestuário, a temperatura, a velocidade do vento, a humidade relativa e a temperatura radiante. O clima gera diversas e diferentes sensibilidades e tipos de reações dos indivíduos, o conforto térmico está ligado as

condições climáticas do espaço que gera um efeito mental que exprime a satisfação com o meio e suas condições térmicas. O corpo humano realiza uma série de processos fisiológicos para manter a temperatura corporal o que envolve trocas de calor com o meio. À exceção do metabolismo do corpo são quatro os processos de transferências de calor. Trocas por radiação (R): Dão-se entre o Sol e o corpo, entre o corpo e a abóbada celeste, entre o corpo e outros corpos como as paredes (perda de calor da pele para o meio envolvente) no caso das habitações, sendo que depende das médias das temperaturas superficiais variando entre 20 a 25% mediante a distância. Trocas por condução (C): troca de calor entre o corpo e toda superfície em que ele toca. Nos edifícios este processo é mínimo ou quase desprezível pois o contacto direto com a superfície é limitado, com exceção do contacto dos pisos com os pés. Trocas por convecção (Cv): estas trocas térmicas acontecem entre a pele e o ar envolvente. Depende de dois fatores, tal como a velocidade do ar que pode influenciar 40% das perdas totais do espaço, no caso de forte ventilação, e do diferencial das temperaturas entre o ambiente e o corpo. Trocas por evaporação (E): consiste na eliminação do calor pela troca pulmonar, na expiração e através da pele, pelos poros. O arrefecimento por evaporação diminui com o aumento da humidade relativa do ar.

Podem ser escolhidos sistemas construtivos, em função da percepção do efeito que vão causar no ambiente interior de um edifício, como exemplo, temos a inércia térmica que contribui para o bom comportamento térmico e acústico, sendo que em casos caracterizados como climas áridos permite atrasar o aquecimento interior dos edifícios. A ventilação tem como finalidade reduzir a ocorrência de condensações e consequentemente o aparecimento de fungos e bolores, permite ainda a manutenção da qualidade do ar interior, reduzindo desta forma a concentração de vapor de água, de dióxido e monóxido de carbono e de compostos orgânicos voláteis (originários dos materiais, das madeiras, dos plásticos, de tintas e vernizes, entre outros), que podem levar à degradação do ambiente interior. Apesar da comum ideia de que o conforto físico e mental está associado às temperaturas do meio envolvente, existem outros parâmetros e variáveis tais como a radiação solar e a humidade relativa que estão na essência deste pressuposto. Conteúdos normativos europeus como a ISO 7730 consideram que, em atividades consideradas moderadas, para haver conforto no inverno as temperaturas devem estar compreendidas entre 20° e 24° C, enquanto no verão, entre os 23°C e 26°C. A humidade relativa, deve estar compreendida entre os 40 e 60%, contudo, pode variar entre um valor mínimo de 30% e máximo de 70%. Com valores inferiores ao mínimo antevêm-se dificuldades respiratórias e, no caso de serem superior a 70%, existe uma sensação de mal-estar em consequência de uma transpiração corporal irregular (Silva 2009).

3.7 Climas de Portugal e Angola

Os países que vão servir de base a este estudo apresentam aspetos climáticos consideravelmente diferentes. Como já foi referido, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, Portugal apresenta um clima mediterrânico temperado, enquanto Angola apresenta diferentes climas subtropicais, que vai do árido, semiárido, tropical moderado de altitude até ao tropical húmido, influenciado maioritariamente pelo fato de ser uma região subtropical (entre o Equador e o Trópico de Capricórnio) e pela corrente fria marítima de Benguela, que provoca no clima, o efeito, referido como de cacimbo, associado ao inverno com um período mais seco em que se verifica uma ligeira descida das temperaturas.

Portugal atende um clima temperado, com amplitudes térmicas entre o inverno e o verão bastante altas. Segundo o REH (ITeCons 2013), o país encontra-se dividido em três zonas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas de verão (V1, V2 e V3). As zonas climáticas de inverno são definidas através do número de graus-dias na base 18°C e corresponde à estação de aquecimento. As zonas climáticas de verão são definidas através das temperaturas médias exteriores de verão, sendo também chamada de estação de arrefecimento. A título de exemplo, um edifício localizado nas zonas I3 e V3 refere-se a um local onde o inverno e o verão são bastantes rigorosos. Segundo o despacho nº 15793-F/23013 do REH (ITeCons, 2013, pág. 100 - 106) que define o zoneamento climático para Portugal, a cidade de Coimbra está localizada na zona correspondente ao baixo Mondego, portanto, I2 para zona de inverno e V2 para zona de verão, contudo, o meses de inverno podem variar se forem feitas correções na altitude, pela formula exposta neste despacho, $X=X_{ref}+a(z-z_{ref})$ o que não é o caso, pois o declive para a cidade de Coimbra é $a=0$ (ITeCons, 2013, pag. 104), logo não precisa de correções. No caso do baixo Mondego correspondente a Coimbra são 6,3 meses de inverno, por norma são os mais frios e húmidos, contudo, as temperaturas médias nunca foram inferiores a zero graus Celsius (0°C). A Primavera começa nos meados de Março vai até meados de Maio e o Outono em Outubro vai até meados de Novembro, correspondem exatamente aos equinócios de verão e Inverno no hemisfério norte. O verão é a estação do ano supostamente mais quente, caracterizado por uma subida da temperatura e por uma descida da humidade relativa. Neste período distinguem-se uns meses de condições mais suaves, nomeadamente Junho e Setembro, em alguns destes verifica-se um acentuado aumento da temperatura, nomeadamente em Julho e Agosto, na Tabela 3.1 são apresentados as normais para Coimbra, Lubango e Luanda em que a variável (1) são as temperaturas médias máximas (°C), (2) as temperaturas médias mínimas (°C), (3) as temperaturas médias (°C) e (4) as humidades relativas médias (%) (Aja et al. 2013).

Tabela 3.1 - Variáveis climáticas para a cidade de Coimbra, Lubango e Luanda (NASA 2015).

MÊS	COIMBRA				LUBANGO				LUANDA			
	(1) (°C)	(2) (°C)	(3) (°C)	(4) %	(1) (°C)	(2) (°C)	(3) (°C)	(4) %	(1) (°C)	(2) (°C)	(3) (°C)	(4) %
JAN.	14,6	4,6	9,6	85	24,7	12,9	18,8	56,3	29,2	23,3	26,2	72,4
FEV.	15,9	5,9	10,9	82,5	24,2	12,8	18,5	60,7	29,8	23,5	26,6	72,4
MARÇO	18,3	6,9	12,6	80	24,3	13,1	18,7	68,6	30,1	23,8	26,9	78,5
ABRIL	19,3	8,4	13,9	78,8	24,5	12,4	18,4	53,4	29,9	23,6	26,7	78,5
MAIO	21,6	10,8	16,2	77,5	24	9,3	16,6	33	27,8	22,2	25	68,3
JUNHO	25,3	13,5	19,4	74	22,6	7,4	15	31,9	25,1	19	22	58,7
JULHO	28,1	15	21,6	67,6	23,3	7,7	15,5	30,2	23	17,6	20,3	58,8
AGOST.	28,5	14,4	21,5	65	25,2	10,1	17,6	31,2	23,2	17,7	20,4	63,4
SET.	26,9	13,4	20,2	69,1	27,2	12,3	19,7	31,3	23,3	19,5	22,4	66,1
OUT.	22,4	10,9	16,6	78,8	27,4	12,9	20,1	40,6	27,2	21,8	24,5	70,6
NOV.	18	7,7	12,9	84	25,8	13	19,4	51,4	28,4	23	25,7	76,1
DEZ.	15,4	6,3	10,8	84,8	25	13	19	52,7	28,7	23	25,8	72,3
Média das temp no Verão			20,8	68	VERÃO		18,8	50	VERÃO		25,5	72
Média das temp. Inverno			10,32	83	INVER.		16,0	31	INVER		20,9	60

Angola está situada entre o Equador e o Trópico de Capricórnio. Apresenta essencialmente quatro tipos de climas, que são, o clima subtropical modificado pela altitude, na zona central planáltica que vai de Sudoeste interior até Este Central do território (a cidade de referência é o Lubango); Tropical Desértico que se situa na faixa do litoral desde a fronteira com a Namíbia até Benguela; tropical seco, influenciado pela corrente fria marítima de sul (Benguela), localizado maioritariamente no sul do país, prolongando-se por uma faixa costeira até ao litoral Norte (a Cidade de referência é Luanda); por fim, o clima Tropical Húmido que se situa, maioritariamente, no interior norte e nordeste do país. Poder-se-á dizer que a temperatura média anual mais baixa é de 15°C-20°C e regista-se na zona planáltica e ao longo do deserto do Namibe. A temperatura média anual mais elevada varia entre os 25°C e os 27°C e ocorre na região da bacia do Congo e no filamento litoral Norte do País. O interior do país pode ser dividido em Norte, com grande pluviosidade e temperaturas altas; em Planalto central com uma estação seca e temperaturas médias na ordem dos 19°C; e em Sul com amplitudes térmicas bastante acentuadas devido à proximidade com o deserto e à influência de massas de ar tropical. A fronteira marítima, com 1650 quilómetros, e a altitude média baixa determinam a existência da zona litoral, com clima tropical seco a Norte e desértico a Sul, influenciada pela corrente fria de Benguela, com precipitações anuais que variam entre os 50 mm no Namibe e os 800 mm em Cabinda, assim como uma humidade relativa superior a 30% e temperatura média anual superior a 23°C (Kamweneshe et al. 2006).

3.8 Clima e soluções solares passivas

As necessidades de utilização de sistemas solares passivos nos diferentes climas foram observadas através da aplicação do Analysis Bio 2.0, um programa informático desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, no Brasil. A metodologia desta aplicação consiste na sobreposição de dados climáticos fornecidos, como a altitude, as temperaturas médias mínimas e máximas, bem como a humidade media relativa mensal do ar e as pressões atmosféricas existentes no local de estudo, ao diagrama psicométrico, calculando-se assim as percentagens de horas no ano em que ocorre conforto e desconforto térmico dentro dos edifícios. Mediante o tipo de clima e os resultados obtidos no diagrama psicométrico, com as percentagens de conforto e desconforto, o programa permite associar um tipo de intervenção construtiva passiva que será necessária para colmatar o desconforto e potencializar o conforto no interior dos edifícios nas zonas de estudo. A figura 3.10 seguinte apresenta os resultados para Coimbra, Luanda e o Lubango (Silva 2009).

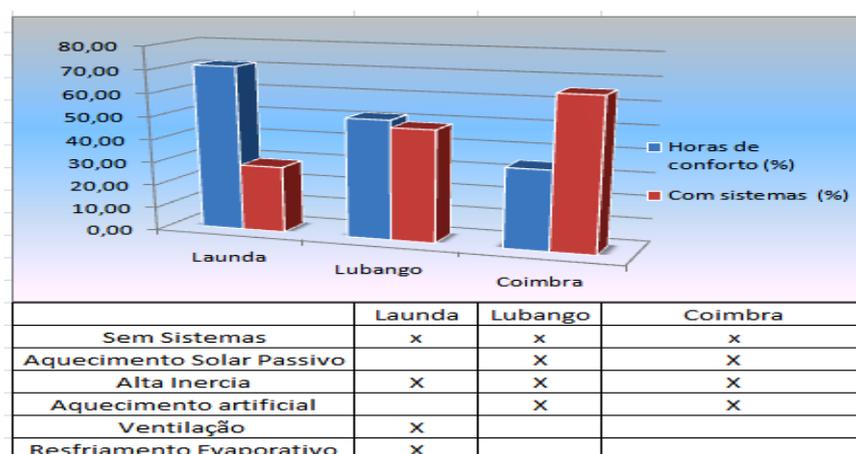


Figura 3.10 - Comparações entre a utilização de técnicas solares passivas (Silva 2009).

Conclui-se que, das três situações analisadas, Luanda é a que tem mais horas de conforto durante o ano sem recorrer a sistemas solares passivos, podendo necessitar aproximadamente de 25% para arrefecimento. Em contrapartida, Coimbra é a que tem maior necessidade de utilizar sistemas construtivos solares passivos para compensar a falta de horas de conforto, essencialmente durante os períodos de aquecimento. No caso do Lubango, divide-se aproximadamente entre 50% de horas de conforto e 50% de desconforto, com necessidade de sistemas solares passivos para aquecimento.

4 ESTUDO PARAMÉTRICO

4.1 Objetivos

Este capítulo vai ser dividido em quatro partes. Inicialmente, descreve-se a metodologia de cálculo utilizada, desseguida, é feita uma descrição geométrica e um enquadramento geográfico do edifício original, nomeadamente, com a descrição dos principais elementos relativos a arquitetura do edifício em estudo, soluções e pormenores construtivos do mesmo, segundo, informações retiradas da análise visual do edifício e de informações retiradas da Internet. Posteriormente, segue-se, a caracterização e a combinação de três conjuntos de soluções construtivas arbitradas para a envolvente exterior, de acordo com os materiais mais comuns de serem utilizados na construção de edifícios correntes em cada País. Para cada conjunto de soluções, será feita uma análise higrotérmica parcial da envolvente opaca e envidraçada do edifício nos diferentes cenários climáticos, todavia, escolher-se-á uma das soluções como referência as restantes.

4.2 Ferramentas e metodologia de cálculo

A análise do comportamento higrotérmico, dos três conjuntos de soluções construtivas propostas inicialmente nos diferentes cenários climáticos, vai ser executada mediante a utilização da ferramenta de cálculo automático do CYPE, o CYPETERM, que exporta uma folha de cálculo baseada na metodologia de cálculo do atual regulamento de térmica Português, REH (Decreto Lei 118/2013 de 20 de Agosto). Por seu turno, utilizar-se-á vários sítios na internet (NASA 2015) (Climate-Data.org 2016) (Google+ 2016) (BizEE Degree Days 2016) que proporcionarão muitos dos dados climáticos necessários para se poder efetuar as análises do comportamento higrotérmicos das soluções construtivas a utilizar em Angola, visto que, o programa em si, não comporta na base dados da biblioteca estes parâmetros climáticos, tendo de ser inseridos manualmente, onde posteriormente será feita a exportação da folha de cálculo baseada no REH, desta feita, acordo com o clima do lugar pretendido. O CYPE é um programa informático utilizado para o cálculo do desempenho energético de um edifício, segundo um modelo 3D, integrado com os distintos elementos do edifício, que permite caracterizar o desempenho energético de edifícios novos ou existentes de habitação, visando o cumprimento dos requisitos estabelecidos

através da definição de parâmetros e metodologias indicados no REH. Este programa dispõe ainda de uma introdução manual dos parâmetros citados. O CYPE, através da análise do modelo tridimensional do edifício, realiza o cálculo automático da inércia térmica das frações, dos fatores de obstrução da radiação solar, da redução de perdas, dos ganhos, das necessidades de aquecimento e arrefecimento, analisadas numericamente por elementos finitos bidimensionais. O CYPE dispõe de uma funcionalidade, que permite a exportação de parâmetros para este programa, entre os quais as áreas, volumes, coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca e envidraçada, pontes térmicas lineares obtidas a partir das soluções construtivas selecionadas. No caso de Angola, os dados climáticos não se encontravam disponíveis na base de dados, mas o programa permite inserir dados como a longitude, a latitude e a altitude de Luanda e Lubango, assim como, os dados climáticos de referência, nomeadamente a temperatura seca, a temperatura húmida, a oscilação diária da temperatura seca, a oscilação diária da temperatura húmida, a profundidade ótica do céu limpo para a irradiação direta, profundidade ótica para a radiação difusa, a temperatura seca geral e a humidade relativa. Portanto, com estes dados o programa vai poder fazer a simulação higrotérmica do edifício e das suas soluções construtivas para as cidades em questão, possibilitando a análise de parâmetros térmicos, que são exportados para uma folha de cálculo baseada no REH (CYPE Ingenieros, S.A).

4.2.1 Metodologia para o estudo de dispositivos de sombreamento

Para perceber em que sentido o sombreamento solar, vai influenciar o comportamento higrotérmico do edifício, para efeitos de cálculo no edifício original sem dispositivos de proteção solar o CYPE segue a metodologia do REH (ITeCons, 2013a, pag. 84 - 88) onde estão representados nas folhas de cálculo exportadas pelo programa, os valores dos ganhos solares em cada estação, aquecimento e arrefecimento. Posteriormente, quando forem feitas propostas de melhoria para reduzir as necessidades de arrefecimento com dispositivos de proteção solar para os vãos envidraçados exteriores das fachadas, vai ser calculado os ganhos solares produzidos pelo tipo de sombreamento escolhido, em ambas as estações, unicamente utilizando a substituição direta do produto do fator de obstrução solar pelo valor da fração envidraçada ($F_s.F_g$) nas folhas de cálculo originais exportadas. Estes novos valores do ($F_s.F_g$) são retirados das tabelas de simplificação do REH para edifícios existentes, dispostos na tabela 05 do despacho N.º 15793-E/2013 (ITeCons, 2013b, pag. 121) para a estação de aquecimento e na tabela 06 do mesmo despacho (ITeCons, 2013c, pag. 122) para a estação de arrefecimento.

4.2.2 Metodologia utilizada para o estudo da ventilação

No casos práticos a analisar utilizar-se-á a ferramenta de cálculo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), para a obtenção de todos os caudais de ventilação natural. Efetuar-se-á o cálculo automático tendo em vista o definido pelo regulamento, REH, como aspetos gerais, tais como a exposição da fachada ao vento e a permeabilidade das fachadas da envolvente por dispositivos de admissão de ar, incluindo a diferença de pressão exercida nas mesmas, associada à impulsão térmica. Constatando, da mesma forma, os parâmetros da velocidade do vento, segundo a rugosidade do ar, disposto no regulamento. Portanto, esta aplicação, determinada pelo método analítico, permite definir os caudais mínimos de ar novo para os edifícios de habitação, tal como o número de renovações horárias necessárias para cada edifício. Estes valores são posteriormente aplicados segundo o REH e o RECS nas folhas de cálculo. A folha do LNEC permite inserir uma série de dados, nomeadamente o enquadramento geográfico, a região e a rugosidade, bem como a geometria do edifício, as suas áreas e o tipo de edifícios, que se encontram na envolvente, ao passo que, a velocidade do vento é definida por defeito ($u_{10}=3.6$ m/s).

4.3 Descrição geométrica e geográfica do edifício

O edifício que serve como base de estudo, trata-se de um Hotel com cinco pisos e rés-do-chão (r/chão 1º, 2º, 3º e 4º andar são habitáveis, 5º andar não habitável), com uma área em planta aproximada de 440 m² (12,8x34,4 m) e um pé direito de 3,20 m por piso, a altura que vai desde a base do rés-do-chão até ao cume da cobertura, é de 22 m, a Figura 4.1 e Figura 4.2 representam a geometria do Hotel (Google. PT 2015). O edifício original está localizado na cidade de Lubango, Angola, corresponde a um hotel de três estrelas com uma construção característica dos anos 90, mas que passou atualmente por uma remodelação construtiva e reabilitação. Está situado próximo do centro da cidade e integra 60 quartos, algumas salas para conferências, restaurante, bar, elevador, e uma cobertura metálica bastante ventilada. O rés-do-chão acomoda o restaurante, o bar, a cozinha e outros espaços de serviço, tal como a receção do hotel, por sua vez, os restantes pisos contêm outros serviços (quartos, salas, casas de banho e outros compartimentos) (TripAdvisor 2015). O edifício original possui elementos estruturais em betão armado (lajes, pilares e vigas), pelo que comporta uma inércia forte devido ao elevado peso volúmico aparente. A laje para ambos os pisos é aligeirada de 0.30 m de espessura com vigotas de pré-esforço e abobadilhas cerâmicas, admite uma viga de bordadura de 0.50 m de altura, sendo o revestimento do piso feito com uma betonilha de regularização e material cerâmico ou madeira, conforme o tipo de compartimento adjacente, todavia, inclui um teto falso permeável ao ar em placas de gesso cartonado, podendo ser em alguns casos de madeira. O último piso, para além de um desvão, alberga uma estrutura metálica leve com uma

cobertura ligeiramente inclinada revestida por uma chapa perfilada sem isolamento, fortemente ventilada. Neste trabalho, utilizar-se-á a solução original existente da cobertura, para formular o modelo de cálculo, que por sua vez, vai influenciar no desempenho higrotérmico global do edifício, contudo, excluir-se-á a sua análise e contributo individual, em virtude de o estudo incorrer essencialmente, sobre o comportamento higrotérmico parcial da envolvente exterior opaca e envidraçada das fachadas. É ainda relevante referir que, a orientação das fachadas do edifício coincidem exatamente com a localização dos vãos envidraçados, cuja maior percentagem se situa na fachada principal a Noroeste (38%) e a sudeste (46%), contudo, uma pequena parte está exposta a nascente (9%) e poente (7%). Relativamente a edifícios envolventes, possuem na sua maioria alturas inferiores em relação ao caso de estudo não imputando qualquer tipo de sombreamento (Google. PT 2015).

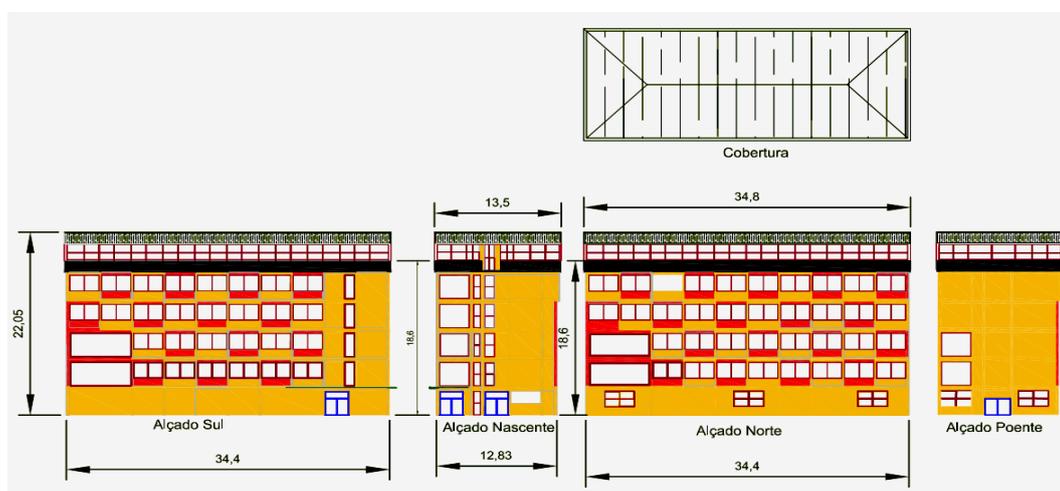


Figura 4.1 - Desenhos dos alçados da solução original (Autocad).

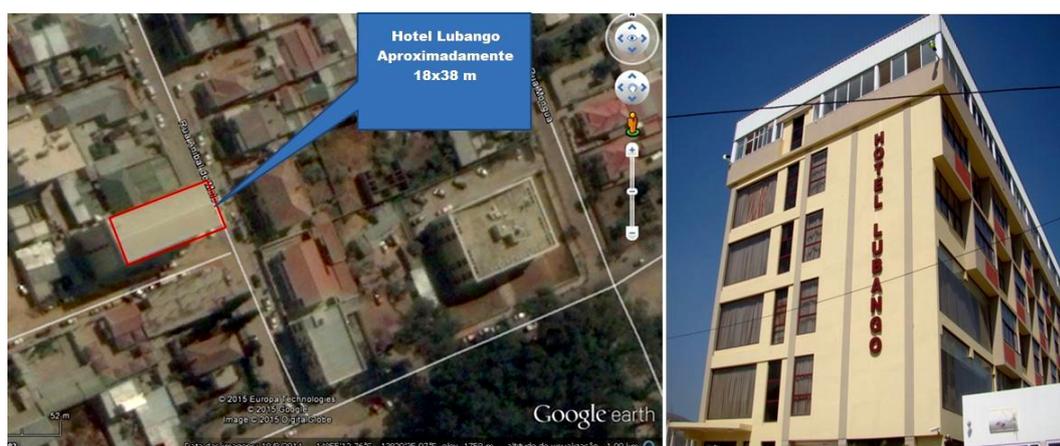


Figura 4.2 - Localização geográfica (google.pt 2015).

4.4 Condições de cálculo e soluções construtivas dos diferentes cenários

Nesta fase vão ser definidas várias soluções construtivas para a envolvente exterior opaca e envidraçada, que vão combinar com os diferentes cenários (Coimbra em Portugal, Luanda e Lubango em Angola). Esta combinação de soluções construtivas com os cenários climáticos diferentes, dará origem a três análises diferenciadas do comportamento higrotérmico para cada caso. Contudo, as escolhas das soluções construtivas exteriores para os diferentes cenários foram definidas em função do tipo de matérias mais utilizados na construção de edifícios correntes em cada país. O cenário de referência corresponderá a solução construtiva integrada em Coimbra, visto ser a que originalmente se enquadra na metodologia de cálculo do regulamento Português, ao passo que, para os outros cenários incidirá na adaptação da folha de cálculo ao local e condições climáticas de Angola. Através folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético do edifício, exportada pelo CYPETERM (comando do CYPE que faz a verificação do comportamento higrotérmico do modelo através da metodologia cálculo baseada no REH), poderemos obter o cálculo das transferências de calor por transmissão e ventilação os ganhos térmicos brutos de inverno de verão, o limite máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, o limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, bem como as necessidades nominais anuais globais de energia primária e o limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária.

4.4.1 Condições de cálculo e ocupação

De uma forma geral, em atividades consideradas moderadas para haver conforto no inverno, as temperaturas devem estar compreendidas entre os 20°C e os 25°C, enquanto no verão, estas devem compreender-se entre os 23°C e os 26°C. A humidade relativa deve estar compreendida entre valores de 40% a 60%, contudo, pode variar para valores mínimos próximos de 30% e máximos que podem ir até 70%. Na Tabela 4.1 estão expostos os valores das temperaturas interiores médias e humidades relativas interiores médias necessárias ao cálculo, consideradas como sendo os ideais para que haja conforto térmico interior nos espaços habitados. Portanto, estes valores interiores, estão relacionados com os intervalos (temperaturas e humidade relativa), definidos no primeiro parágrafo deste texto, atribuídos de uma forma generalizada entre os máximos e mínimos dos mesmos intervalos, uma vez que, a definição de conforto térmico interior depende de muitos e distintos parâmetros, inclusive, da adaptação individual de cada um ao tipo de clima a onde nos encontramos. Na mesma tabela estão expostos, também, os valores das normais exteriores, em que no caso de Coimbra são retiradas do REH (ITeCons, 2013, pág. 104-106) e nos casos Angolanos, são as médias das normais retiradas da Tabela 3.1. Os

valores da taxa de renovação horária, máxima para o inverno e mínima para o verão, são os que vêm definidas no REH (ITeCons 2013), utilizados igualmente para todos os cenários.

Tabela 4.1 - Condições de cálculo exteriores e interiores em todos os cenários.

	Normais interiores ideais Inverno		Médias exteriores reais no Inverno		0.4
	Humidade relativa interior	Temperaturas interiores	Humidade exterior média UR (%)	Temperaturas exteriores	
Coimbra	50.0 %	18.0 °C	83 %	9.7 °C	0.4
Lubango		18.0 °C	50.0 %	16 °C	
Luanda		18.0 °C	72.0 %	20.9 °C	
	Normais interiores máximas Verão		Médias exteriores reais no Verão		0.6
Coimbra	50%	25 °C	68 %	20.9 °C	
Lubango	30%	25 °C	31.0 %	18.8 °C	
Luanda		26 °C	60.0 %	25.5 °C	

Neste edifício foram considerados dispositivo convencionais de climatização, definidos por defeito, com recurso a eletricidade, segundo o que vem referido no REH “no caso de edifícios existentes nos quais não se encontrem instalados sistemas técnicos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente ou preparação de AQS, devem ser consideradas as soluções por defeito aplicáveis e indicadas na Tabela I.03 da Portaria n.º 349-B/2013, de 29, (ITeCons, 2013a, pág. 124) em que o valor de coeficiente de desempenho (COP) é igual a 2,8, no caso de o edifício prever ou dispor de sistemas com produção térmica por bomba (s) de calor e um valor de eficiência igual a 0,95 (ITeCons, 2013b, pág. 42) ”.

Os períodos de ocupação são escolhidos pelo CYPTERM automaticamente, representados na Figura 4.3, portanto, a base de dados do programa faz corresponder uma ocupação em função do tipo de edifício que é escolhido inicialmente, neste caso foi dada a informação ao programa de que se tratava de um edifício residencial coletivo (hotel). Inclusive considera a iluminação e funcionamento de equipamentos, onde o grande enfoque se dá ao período entre as 8 horas e as 19 horas, por consequência direta, a utilização de equipamentos e iluminação também coincidem.

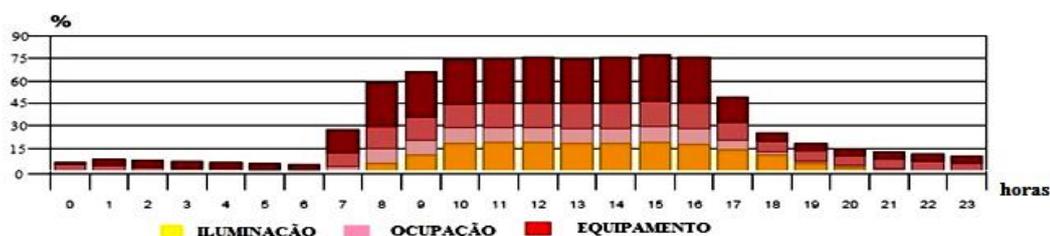


Figura 4.3 - Iluminação, ocupação e equipamentos, considerados (CYPE).

4.4.2 Soluções construtivas

Finalmente, definidas as plantas do edifício em AUTOCAD, representado na Figura 4.4, poder-se-á exportar estas para o CYPE dando origem a uma máscara que serve de base para montar o edifício através das soluções construtivas disponíveis, que se irão sobrepor, criando assim o modelo 3D integrado, igual ao da Figura 4.5.

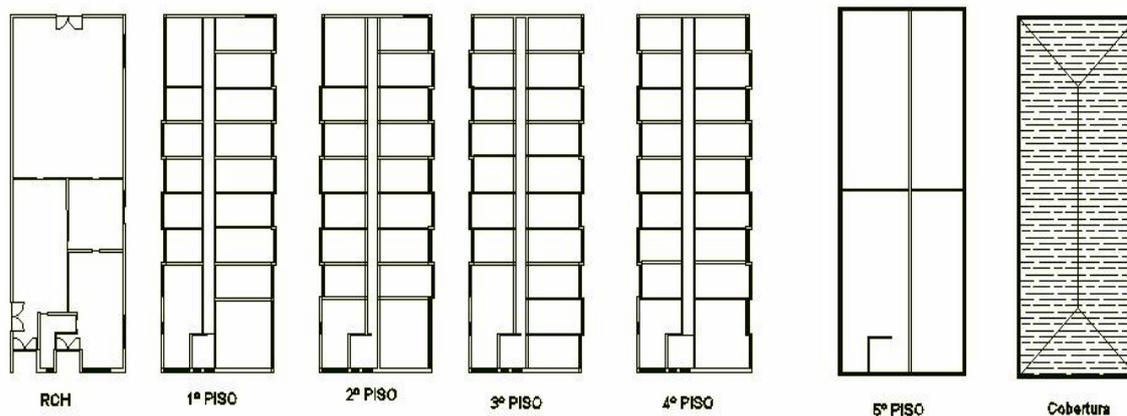


Figura 4.4 - Desenho das plantas para envolvente interior (Autocad).



Figura 4.5 - Modelo 3D produzido pelo CYPE.

A cada cenário vai corresponder um conjunto de soluções construtivas diferentes que vão definir a envolvente exterior do nosso edifício, uma vez que a interior é comum a todos os cenários, tal como representado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resumo dos cenários com as devidas soluções construtivas associadas.

CENÁRIOS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	
CENÁRIO 1 (C1) COIMBRA (cenário de referência)	Paredes do tipo P1, Vãos envidraçados do tipo V3 com cortina interior opaca. Cobertura, piso térreo e envolvente opaca interior com a solução comum.
CENÁRIO 2 (C2) LUANDA	Paredes do Tipo P2, com vãos envidraçados do tipo V1 com cortina interior opaca. Cobertura, piso térreo e envolvente opaca interior com a solução comum.
CENÁRIO 3 (C3) LUBANGO	Paredes do tipo P3 e envidraçados V2 com cortina interior opaca. Cobertura, piso térreo e envolvente opaca interior com a solução comum.

Na Tabela 4.3, vêm representadas as soluções construtivas com as quais foi constituído o modelo 3D da Figura 4.5. Estas soluções construtivas foram retiradas da base de dados do programa (CYPE), e são baseadas no ITE50, que faz menção às características térmicas dos materiais e das envolventes por estes constituídos. A título de exemplo, o tipo da envolvente exterior e interior opaca, tal como, caixilharias e os tipos de vidro, já estão disponíveis automaticamente na base de dados do programa, como macros prontas a adotar, porém, caso não seja possível obtê-las automaticamente através da base de dados, o programa possibilita a criação das novas soluções pretendidas, visto que o mesmo usufrui de opções que possibilitam a composição de soluções através da definição de materiais disponíveis.

Tabela 4.3 – Soluções construtivas a aplicar no modelo 3D (CYPE)

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA E ENVIDRAÇADA	CONSTITUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS	
Parede do tipo P1 – Parede dupla de alvenaria com isolamento na caixa-de-ar.	Constituída, do exterior para o interior por reboco exterior em argamassa de cimento 2 cm, tijolo cerâmico furado (30x20x15) cm, caixa-de-ar de 4 cm, isolamento em lã de rocha (MW) de 3 cm, tijolo cerâmico furado (30x20x11) cm, reboco interior em argamassa de cimento 1.5cm e estuque tradicional 2 cm. Espessura 36,5 cm.	U= 0.56 W/ (m ² .°C)	Massa Total =307.73 kg/m ²
Parede do tipo P2 – Parede simples de bloco de betão rebocada e estucada.	Constituída, do exterior para o interior por reboco tradicional em argamassa de cimento, 2cm, bloco de betão normal (50x20x20) cm, reboco tradicional em argamassa de cimento, 2cm e estuque tradicional 2cm. Espessura de 26 cm.	U= 1.75 W/ (m ² .°C)	Massa Total =256 kg/m ²
Parede do tipo P3 – Parede de bloco de betão com isolamento pelo exterior (ETICS) da Weber.	Constituída por, do exterior para o interior - Argamassa decorativa Weber 0.3 cm, Argamassa base Weber.therm Base 0.5 cm, Pannel rígido de lã de rocha Isofex 6 cm, Argamassa base Weber.therm Base 0.5 cm, Alvenaria de bloco de betão 20 cm, Emboço de cimento 1.5 cm, estuque tradicional 2cm. Espessura total de 30.8 cm.	U.= 0.47 W/ (m ² .°C)	Massa Total =300.90 kg/m ²
COBERTURA “solução comum” - Cobertura metálica inclinada revestida a chapa zincada, com teto falso.	Constituída, do exterior para o interior por chapa de Zinco 1cm, Estrutura em aço leve 5cm, Caixa-de-ar 26 cm, Lã mineral 4cm, Teto falso amovível de placas de gesso laminado 1 cm.	Udec.= 3.80 W/ (m ² .°C)	Uasc.= 3.80 (W/ (m ² .°C))
Vão Envidraçado do tipo V1 - Caixilharia de alumínio, sem corte térmico, com vidro simples de 4 mm, cortina interior opaca.	Transmitância térmica, U _g : 5.00 W/ (m ² .°C), Factor solar: gi=0.88, gv=0.57, gt,max=0.57, Transmitância térmica, U _f : 5.70 W/(m ² .°C), Permeabilidade ao ar da caixilharia (EN 12207): Sem classificar, Absortividade, a _s : 0.4	Uwn= 6.50 W/ (m ² .°C)	Uwdn = 5.20 (W /m ² °C)
Vão Envidraçado do tipo V2 - Caixilharia de alumínio, sem corte térmico, com vidro duplo 6/16/4 mm, cortina interior opaca.	Transmitância térmica, U _g : 2.80 W/ (m ² .°C), Fator solar: gi=0.68, gv=0.57, gt,max=0.57, Permeabilidade ao ar da caixilharia (EN 12207): Sem classificar, Permeabilidade ao ar da caixilharia (EN 12207): Sem classificar, as: 04	Uwn= 4.00 W/ (m ² .°C)	Uwdn = 3.50 (W /m ² °C)
Vão envidraçado do tipo V3 - Caixilharia de alumínio, com corte térmico com vidro duplo low e 6/16/4 mm, cortina interior	Transmitância térmica, U _g : 1.40 W/ (m ² .°C), Factor solar, gi= 0.35, gv=0.31,gt,max=0.31, Transmitância térmica, U _f :4.00 W/ (m ² .°C), Permeabilidade ao ar da caixilharia (EN 12207): Sem classificar, Absortividade, a _s : 0.4	Uwn= 3.00 W/ (m ² .°C)	Uwdn = 2.70 (W /m ² °C)
Porta exteriores, de madeira “solução comum”	1) Porta de entrada de 200x80x4,5 cm, folha com almofadas, com painel de madeira maciça de pinho, Absortividade, a _s : 0.6 (cor média). 2) Porta corta-fogo de aço galvanizado homologado, EI2 60-C5, de duas folhas, 2000x2000 mm.	1) U= 1.79 W/ (m ² .°C)	2) U= 2.25 W/(m ² .°C)
ENVOVENTE INTERIOR COMUM			
Pavimento intermedio com revestimento a soalho de madeira maciça.	Constituído, do topo para a base por tábuas de madeira maciça ou tijoleira 1.8 cm, Betão normal 5cm, laje aligeirada 26+4 cm (Abobadilha cerâmica) 30cm, Caixa-de-ar 26 cm, (MW) 4cm, Teto falso 1cm. Espessura total 68 cm.	U= 0.48 W/ (m ² .°C)	Massa Total =446.24 kg/m ²
Parede interior de tijolo - Tijolo de 11cm, estucada.	Constituído, do exterior para o interior por estuque tradicional 2cm, alvenaria de tijolo cerâmico furado 11cm, estuque tradicional 2cm. Espessura total 15cm.	U= 1.92 W/ (m ² .°C)	Massa Total = 142.30 kg/m ²
Pavimento térreo - Pavimento com revestimento de mosaicos cerâmicos colocados com cola.	Constituído do topo para a base por pavimento cerâmicos de grés esmaltado 1cm, betão normal 5 cm, Massame de betão simples 10 cm, filme polietileno 0.02 cm, polietileno extrudido 3 cm. Espessura Total 20 cm.	U= 0.33 W/ (m ² .°C)	Massa Total =391.32 kg/m ²

4.5 Análise dos parâmetros térmicos

Esta fase do trabalho tem como principal enfoque a análise dos parâmetros térmicos das soluções construtivas escolhidas para formular os casos de estudo. Segundo o artigo 24º do Decreto-lei 118/2013 de 20 de Agosto “Os edifícios abrangidos pelo presente capítulo devem ser avaliados e sujeitos a requisitos tendo em vista promover a melhoria do seu comportamento térmico, a prevenção de patologias, o conforto ambiente e a redução das necessidades energéticas, incidindo, para esse efeito, nas características da envolvente opaca e envidraçada, na ventilação e nas necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento” (ITeCons, 2013, pág. 18). Estes requisitos, vão refletir a melhoria do conforto interior, a atenuação das necessidades energéticas, e a prevenção de patologias.

4.5.1 Análise das soluções construtivas

De acordo com o REH, nenhum elemento da zona corrente da envolvente envidraçada e envolvente opaca, que comportem elementos construtivos, tal como paredes, pavimentos, coberturas deverá exceder os coeficientes de transmissão limites, máximos e de referência. Segundo o REH “O valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente, deve ser determinado considerando os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) previstos na tabela I.01, em função da zona climática” (ITeCons, 2013a, pag. 38). “Nenhum elemento da zona corrente da envolvente opaca do edifício, deverá ter um coeficiente de transmissão térmica superior aos valores máximos que constam da Tabela I.05” (ITeCons, 2013b, pag. 43). “Os coeficientes de transmissão térmica linear (ψ_{ref}) indicados na Tabela I.02, em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício” (ITeCons, 2013c, pag. 38). “Os envidraçados devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativados ($g_{v100\%}$) menor do que o $g_{t,max}$ que são os fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados da tabela I.06” (ITeCons, 2013d, pag. 44 - 45), “ No nº 2 Todas as zonas de ponte térmica plana (PTP), nomeadamente pilares, vigas, caixas de estore, devem ter um valor do coeficiente de transmissão térmica (U_{PTP}), calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, não superior ao dobro do dos elementos homólogos adjacentes (verticais ou horizontais) em zona corrente, U_{cor} , e que respeite sempre os valores máximos indicados no Tabela I.05, mediante o cumprimento cumulativo das seguintes exigências: $U_{PTP} \leq 2 \times U_{cor}$ e $U_{PTP} \leq U_{máx}$ ” (ITeCons, 2013e, pag. 44). “ A verificação das U_{PTP} , disposto no nº 3, pode ser dispensada nas situações em que se verifique que esta é menor ou igual a $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$ ” (ITeCons, 2013f, pag. 44).

Como posteriormente o edifício com as variadas soluções construtivas vai ser sujeito a intervenções, para melhoria do comportamento higratérmico das fachadas, com recurso a sistemas solares passivos, passa-se de seguida à comparações e análise dos parâmetros térmicos de todas as soluções construtivas, associado ao cenário de referência, Coimbra, de acordo com o Decreto Lei 118/2013 de 20 de Agosto, que assim o exige, sempre que existam grandes intervenções nos edifícios existentes. As Tabelas seguintes refletem o comportamento térmico de cada uma das soluções exportadas pelo CYPTERM.

- a) Coeficientes de transmissão térmica de máximo, U_{max} ($W/m^2\text{°C}$), da envolvente opaca exterior e interior, resumido na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Comparação dos coeficientes de transmissão térmica.

U ($W/m^2\text{°C}$)	Soluções construtivas	U_{max}	
0.56	Parede do tipo (P1) ($btr \leq 0.7$)	1.60	$W/m^2\text{°C}$
1.75	Paredes do tipo (P2) ($btr \leq 0.7$)	1.60	
0.47	Paredes do tipo (P3) ($btr \leq 0.7$)	1.60	
0.50	Pavim. Interior sobre espaço n aquecido ($btr \leq 0.7$)	1.30	
2.90	Portas exteriores U_w	1.60	
0.32	Elementos em contacto c/solo em todos	0.50	

Na análise dos coeficientes de transmissão térmica das diferentes soluções construtivas constituintes da envolvente opaca do edifício, pôde-se indagar que unicamente a parede do tipo P2 e as portas exteriores superam os coeficientes de transmissão térmica máximos, segundo o REH (ITeCons, 2013g, pág. 43) portanto, cumprem o requisito.

- b) Coeficientes de transmissão térmica de referência e fatores solares dos envidraçados, resumido na Tabela 4.5.

Como já havia sido referido os vãos envidraçados com dispositivos de proteção a 100% devem obedecer as condições do REH disposto na portaria n.º 349-b/2013 de 29 de novembro (ITeCons, 2013h, pág. 44 - 45). O mesmo diploma define que “O valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente, deve ser determinado considerando os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}) para elementos opacos e envidraçados previstos na tabela I.01, em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática” (ITeCons, 2013i, pág. 38).

Tabela 4.5- Comparação dos coeficientes de transmissão térmica e fator solar dos diferentes vãos envidraçados.

Tipo	U(wdn) (W /m ² °C)	Uref (W /m ² °C)	gv100%	gt,max
V1	5.20	2.60	0.57	0.56
V2	3.50	2.60	0.51	0.56
V3	2.70	2.60	0.27	0.56

Dos vãos já definidos anteriormente, no que se refere aos fatores de sombreamento solar, à exceção do V1 todos eles cumprem o valor regulamentar, disposto no quadro I.06. Contudo, nenhum dos vãos envidraçados cumprem os coeficientes de transmissão térmica de referência (Uref) do Decreto-lei 118/2013 de 20 de Agosto.

c) Pontes térmicas planas da envolvente opaca (UPTP).

A Tabela 4.6 faz a verificação das UPTP de acordo com o REH “Todas as zonas de qualquer elemento opaco que constituem zona de ponte térmica plana (PTP), nomeadamente pilares, vigas, caixas de estore, devem ter um valor do coeficiente de transmissão térmica (UPTP), calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente, não superior ao dobro do dos elementos homólogos adjacentes (verticais ou horizontais) em zona corrente, Ucor, e que respeite sempre os valores máximos indicados no Tabela I.05, mediante o cumprimento cumulativo das seguintes exigências: $UPTP \leq 2xUcor$ e $UPTP \leq U\text{ máx}$ ” (ITeCons, 2013j, pág. 44) ”.

Tabela 4.6 - Comparação dos valores das UPTP das diferentes soluções construtivas

UPTP	Soluções construtivas	Valores regulamentares			W/m ² °C
		Umax	2xUcor	Ucor.	
0.80	Pilares paredes exteriores P1	1.60	1.12	0.56	
3.20	Pilares paredes exteriores P2	1.60	3.5	1.75	
0.59	Pilares paredes exteriores P3	1.60	0.94	0.47	
0.80	Vigas paredes exteriores P1	1.60	1.12	0.56	
3.20	Vigas paredes exteriores P2	1.60	3.5	1.75	
0.59	Vigas paredes exteriores P3	1.60	0.94	0.47	

De acordo com o REH (ITeCons, 2013k, pág. 44) “ a verificação das UPTP, disposto no nº 3, pode ser dispensada nas situações em que se verifique que esta é menor ou igual a 0,9 W/ (m2.°C) ”. Assim sendo, como os valores da UPTP da P1 e P3 são menores que 0,9 W/

(m².°C) logo dispensam verificação. Contudo o UPTP da parede do tipo P2 não verifica o disposto no regulamento, $UPTP \leq U_{m\acute{a}x}$.

d) Coeficientes de transmissão térmica linear Ψ_{ref} (W/m²°C)

A Tabela 4.7 faz a verificação dos coeficientes de transmissão linear, em que Segundo o REH “ ii) Coeficientes de transmissão térmica linear (Ψ_{ref}) indicados na Tabela I.02, em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício (ITeCons, 2013m, pág. 38 e 40) ". Portanto, neste caso a solução P1 não cumpre o requisito de ligação fachada caixilharia.

Tabela 4.7 - Comparações dos coeficientes de transmissão linear, com os Ψ_{ref} (W/m²°C).

Soluções construtiva	Coefficiente da solução	Tipo de ligação	Valores de referência Ψ_{ref}	
P1	0.50	Fachada c/ pavimento térreo	0.5	W/m ² °C
P2	0.50			
P3	0.50			
P1	0.36	Fachada com pavimento ao nível intermédio	0.50	W/m ² °C
P2	0.50			
P3	0.50			
P1	0.40	Duas paredes verticais em ângulos salientes	0.40	W/m ² °C
P2	0.40			
P3	0.40			
P1	0.25	Fachada com caixilharia	0.20	W/m ² °C
P2	0.20			
P3	0.20			

Portanto, isto posto, poder-se-á concluir que uma qualquer envolvente exterior opaca e envidraçada para poder ter um bom desempenho higrotérmico tem de cumprir os requisitos térmicos propostos nas alíneas anteriores. Conclui-se que das soluções construtivas propostas para envolventes opacas unicamente a parede do tipo P2 não cumpre os valores máximos regulamentares, contudo a P1 e P3 cumprem. Das envolventes exteriores envidraçadas a solução construtiva V1 é a mais débil visto não cumprir nenhum dos requisitos propostos.

4.6 Higrometria das soluções construtivas

As diferentes soluções construtivas mediante os diferentes cenários climáticos onde estão inseridas, vão ter uma resposta termo higrométrica diferente, seja na estação de aquecimento ou de arrefecimento. Para cada situação, será analisada o comportamento termo higrométrico da envolvente exterior opaca, através do respetivo diagrama psicométrico referente a cada cenário e assim perceber onde e em quais dos cenários pode

haver risco de condensação superficiais de vapor de água no interior das paredes, bem como no interior do próprio material constituinte da solução construtiva. A ocorrência da patologia mais típica de se considerar nas construções designadas correntes e que implica, em quase todas as situações, deterioração da envolvente, assim como a manifestação de insalubridade e desconforto no ambiente interior. Para isto utilizar-se-á o CYPETHERM HYGRO - 2016 (CYPE Ingenieros, S.A) é uma aplicação de manuseamento simples que permite calcular o fator de resistência superficial interior tendo em conta a humidade superficial crítica e a condensação intersticial em elementos construtivos, com base no comportamento higrotérmico dos materiais e produtos de edificação. Entre as principais características do CYPETHERM HYGRO destacam-se o cálculo conforme a norma EN ISO 13788, onde são relevantes parâmetros como a humidade interior conhecida, classe de higrometria interior, taxa de produção de humidade e o cálculo da transmissão térmica. Para tal o programa vai buscar informação á biblioteca e catálogos de materiais, que comporta informação do LNEC (Portugal) entre outros. O cálculo da condensação intersticial contempla a geração de gráficos pressão/temperaturas, pressão de vapor teórico, pressão de saturação, pressão de vapor real e temperaturas.

4.6.1 Comportamento higrométrico da parede do tipo P1 para Coimbra

Com o objetivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de $\varphi_{si,cr} \leq 0.3$. Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores na estação de aquecimento, o cálculo do fator de resistência superficial interior mínimo, $fR_{si,mín}$, exposto na Tabela 4.8, vem em função de parâmetros como, a temperatura do ar exterior (θ_e) em °C, a humidade relativa do ar exterior (φ_e) em %, a temperatura do ar interior (θ_i) em °C, e a humidade relativa do ar interior (φ_i), aumentada com um coeficiente de segurança de 5%, da pressão de vapor no ambiente interior (P_i) em pascais (Pa). Inclusive, dependerá da saturação do vapor de água mínima aceitável ($P_{sat}(\theta_{si})$) para a superfície interior dada em pascais (Pa) e da mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável ($\theta_{si,mín}$) em °C.

Tabela 4.8 - Valores regulamentares higrométricos (CYPE).

θ_e (°C)	φ_e (%)	θ_i (°C)	φ_i (%)	P_i (Pa)	$P_{sat}(\theta_{si})$ (Pa)	$\theta_{si,mín}$ (°C)	$fR_{si,mín}$	
5	82	20	50	55.0	1285.32	4284.41	30.2	1.679

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a referido na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Valor do fator de resistência superficial (CYPE)

Dados	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e_T	cm	36.5
Resistência térmica total, R_T	$m^2 \cdot K/W$	2.4211
Espessura de ar equivalente total, $S_{d,T}$	m	0.36
Transmitância térmica, U	$W/(m^2 \cdot K)$	0.56
Factor de resistência superficial interior, f_{Rsi}	--	0.927

O mês crítico é janeiro, com o valor de $f_{Rsi,mín}$ mais alto do que o calculado, $f_{Rsi} = 0.946 < f_{Rsi,mín} = 1.679$, logo não cumpre a condição de dimensionamento o que consequentemente pode levar a condensações superficiais. Na Figura 4.6 vêm representados os valores da pressão de saturação, temperaturas e pressão de vapor real ao longo de todas as camadas da parede, além do mais, pode-se verificar se existe ou não condensações intersticiais.

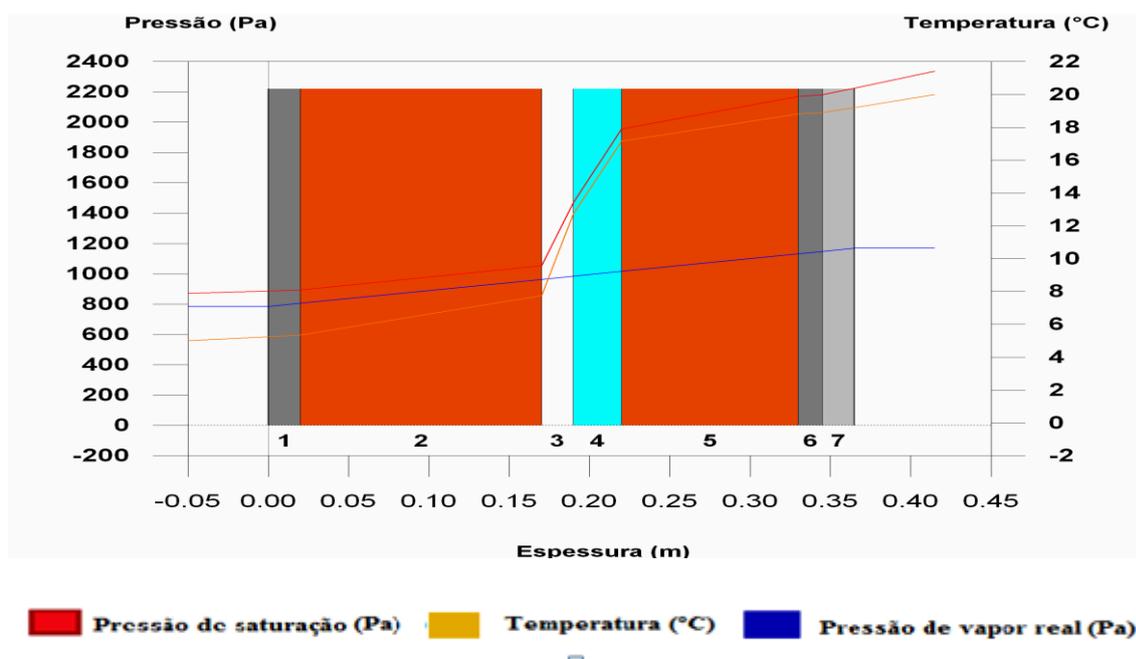


Figura 4.6 - Representação gráfica das condensações intersticiais previstas para Coimbra (CYPE).

Coimbra é uma cidade que apresenta valores de umidade relativa exterior muito elevados ao longo do ano, com maior agravante durante o período de inverno, contudo de acordo com o gráfico da Figura 4.6, neste caso verifica-se a não existência de condensações intersticiais entre os elementos construtivos da parede.

Nos casos em que exista realmente condensações intersticiais entre os elementos construtivos mais exteriores da parede, para atenuar esta condição e impedir este tipo de

patologia, os elementos da parede em contacto com o exterior devem apresentar uma condutibilidade térmica mais baixa, bem como ser bastante permeável ao vapor de água (argamassas permeável ao vapor de água e tinta de água de base acrílica) sendo necessário alguma das vezes aplicar uma barreira ao vapor no pano interior da parede.

4.6.2 Comportamento higrométrico das paredes P2 e P3 nos seus cenários.

A Figura 4.7 apresenta os resultados da higrometria da parede P2 no cenário de Luanda (figura á esquerda) e da parede P3 no cenário de Lubango (figura á direita), nos quais se verifica que a pressão de vapor real definida pela linha azul se encontra muito abaixo da temperatura e da pressão de saturação definidas pelas linhas amarela e vermelha respetivamente, logo não existem qualquer tipo de condensações interiores.

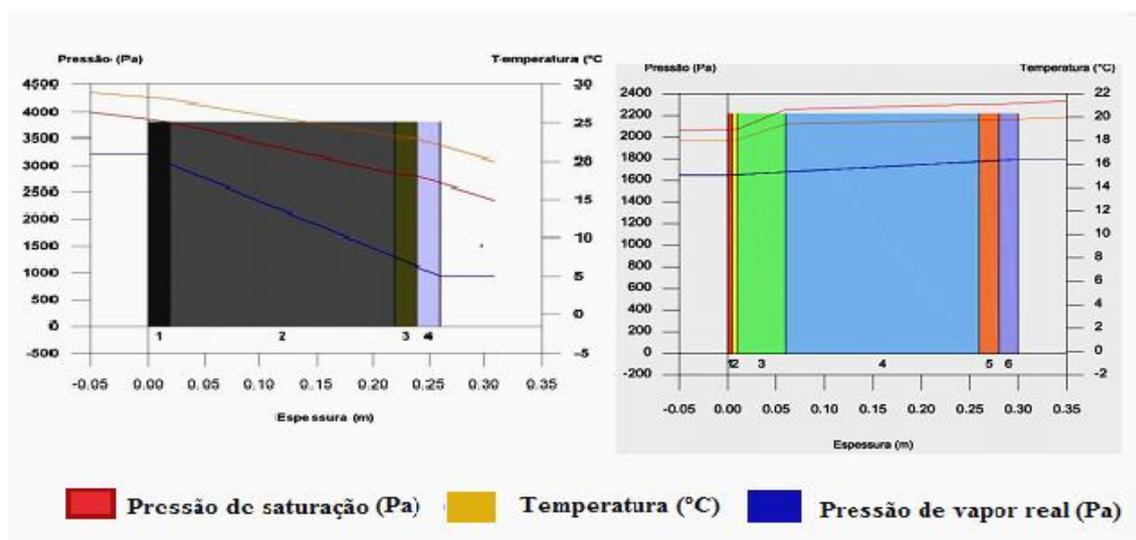


Figura 4.7 - Representação gráfica das condensações intersticiais previstas Luanda na figura a esquerda e Lubango na figura a direita (CYPE).

4.7 Inércia térmica e capacidade específica de armazenamento térmico

De acordo com regulamento vigente REH (ITeCons, 2013, pag. 78 - 81) a classe de inércia térmica do edifício ou fração, representada na Tabela 4.10, determina-se de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento, como definida em (1). A inércia térmica depende da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e da massa superficial útil de cada elemento de construção. A massa superficial útil de cada elemento, M_{si} , vem em Kg/m^2 e depende da localização dos elementos no edifício, posição do isolamento térmico do revestimento superficial e constituição do

mesmo. Distinguem-se entre estes componentes, os elementos da envolvente exterior ou interior os elementos em contacto com fração autónoma (EL1), elementos em contacto com o solo (EL2) e paredes ou pavimentos interiores.

$$It = \frac{\sum M_{si} \cdot r_i \cdot s_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (1)$$

Tabela 4.10 – Classes de inércia do REH (ITeCons 2013).

Classes de inércia térmica	It [Kg/m^2]
Fraca	$It < 150$
Média	$150 \leq It \leq 400$
Forte	$It > 400$

As massas dos diferentes elementos de construção neste caso foram obtidas de acordo com o ITE50 do LNEC que estão dispostos na biblioteca do CYPE, podendo ser obtido em outras tabelas técnicas. A Figura 4.8 seguinte relaciona e diferencia os valores da inércia térmica de cada cenário construtivo proposto, com a massa superficial útil de cada fração constituinte de edifício em estudo em que a azul temos a inercia térmica dos cenários de Coimbra com paredes do tipo P1 e vão envidraçados do tipo V3, a vermelho esta o cenário de Lubango com paredes do tipo P3 e vãos envidraçados do tipo V3 e por último a verde está o cenário de Luanda com paredes do tipo P2 e vão envidraçados V1.

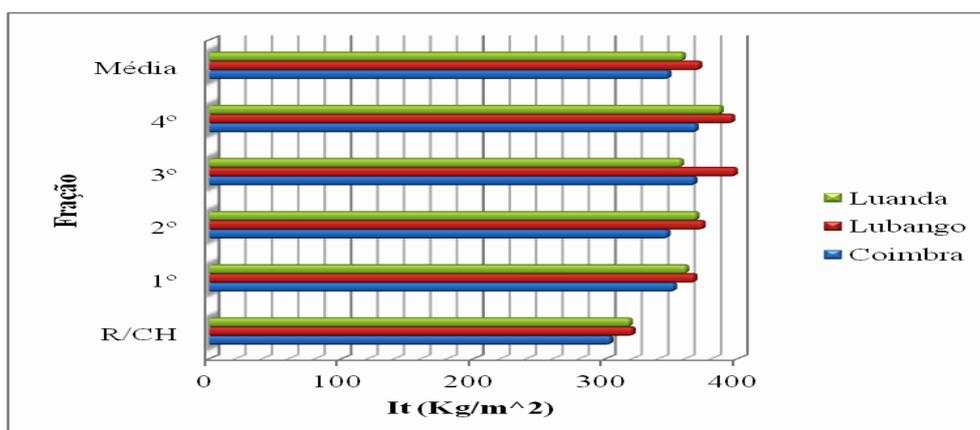


Figura 4.8 - Inércia dos diferentes cenários construtivos, P1 em Coimbra, P2 em Luanda e P3 em Lubango (CYPE).

Apesar dos cenários construtivos de Luanda e Lubango, serem os que têm as paredes, com uma inércia parcialmente maior, todos eles albergam valores muito similares, portanto, todos os cenários construtivos têm uma classe de inércia média, de acordo com a Tabela 4.10 do REH (ITeCons 2013). A inércia térmica é essencial em climas temperados como no caso de Coimbra (temperado mediterrânico) e Lubango (subtropical temperado de altitude), por seu turno, melhora o atraso térmico da envolvente opaca e favorece essencialmente o comportamento térmico global do edifício. Isto reflete-se, mais, nos países onde existe uma acentuada variação da amplitude térmica entre o período diurno e noturno, portanto as temperaturas variam substancialmente entre o dia e a noite, o que no verão pode favorecer o arrefecimento noturno da envolvente opaca quando utilizada ventilação natural. No caso de Luanda elementos com elevada capacidade de armazenamento térmico podem ajudar a resistir as elevadas temperaturas diurnas, devido ao atraso térmico que estas contemplam, contudo, este tipo de solução só é eficaz se houver um resfriamento noturno em que durante a noite, a variação de temperatura ajuda a dissipar o calor armazenado nas paredes. Todavia em Luanda, na estação quente isto não se verifica, pois a o abaixamento da temperatura durante a noite, não é muito relevante, portanto, não existe uma variação muito grande das temperaturas noturnas para as diurnas, impedindo o resfriamento e a dissipação de calor da envolvente opaca, permitindo o sobreaquecimento dos compartimentos. Poder-se-ia, considerar como solução construtiva, mais propícia, a combinação de envolventes com inércia diferenciada, em que uma com características pesadas e cerrada, protege o interior das temperaturas diurnas, e outra de construção ligeira, funcionando, como alternativa para ventilação noturna, a título de exemplo grandes alpendres ou varandas enceradas com construção ligeira, munidos de aberturas não muito pronunciadas, mas com algumas caracterizas peculiares, como, pormenores construtivos que direcionem os ventos no sentido pretendido. Em alternativa poder-se-ia utilizar o resfriamento evaporativo através de uma torre de resfriamento ou espaços verdes.

4.8 Parâmetros térmicos e climáticos

O CYPTERM só pode fazer análise higrotérmica do edifício em estudo no cenário climático de Coimbra, pelo motivo de este não comportar os parâmetros climáticos de Luanda e Lubango. Assim sendo, para perceber qual o comportamento higrotérmico do edifício em estudo com as soluções construtivas nos cenário de Luanda e Lubango, na folha de cálculo exportada pelo CYPETERM referente ao cenário de Coimbra, serão alteradas as soluções construtivas pretendidas e parâmetros térmicos das mesmas, bem como os parâmetros climáticos que as caracterizam e influenciam as cidades Angolanas, tal como, os valores dos graus dias, duração da estação de aquecimento, temperatura exterior de projeto de inverno, energia solar média mensal numa superfície vertical orientada a norte, energia solar acumulada durante a estação de arrefecimento recebida na

horizontal referente a orientação de cada fachada (Isol), temperatura exterior de verão e duração da estação de aquecimento de Luanda e Lubango. Com isto, serão obtidos os valores das transferências de calor por transmissão e ventilação os ganhos térmicos brutos de inverno e de verão, bem como o limite máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, inclusive as necessidades nominais anuais globais de energia primária e o limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária.

4.8.1 Análise e comparação dos Graus dias de aquecimento

Através de vários sítios na internet (NASA 2015; BizEE Degree Days 2016) obtêm-se os graus dia para Angola. No caso de Coimbra a base de dados do programa já os contempla, baseados no despacho n.º15793-F/2013 do REH (ITeCons, 2013, pág. 104) a título de exemplo a Tabela 4.11 mostra a variação dos graus dias ao longo dos meses para Luanda e Lubango.

Tabela 4.11 - Graus dias mensais GD (°C.dia) na base 18 °C para Lubango e Luanda.

Lubango												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Junh	Julh	Agost	Set	Out	Nov	Dez	Total
13	8	5	5	28	49	45	12	9	8	5	13	200
Luanda												
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Junh	Julh	Agost	Setemb	Outub	Nov	Dez	Total
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Os graus dias para a estação de aquecimento no quadrante sul, vão ser muito mais reduzidos, de tal forma que Lubango apresenta um total de 200 (°C.dia) durante os meses de inverno e Luanda não apresenta nenhuns, já Coimbra tem 1297 GD (°C) (ITeCons, 2013, pág. 104) o que reflete números elevadíssimos em relações cidades Angolanas, tal como este representado na Figura 4.9. Isto acontece dado que, esta análise estar a ser feita para graus dias na base 18 °C, no que lhe concerne, estas cidades localizadas no hemisfério sul em climas subtropicais, com estações sempre contrárias às do hemisfério norte e menores meses de aquecimento, na maior parte do tempo vão possuir temperaturas acima dos 18 °C, daí o motivo de, Lubango apresentar valores reduzidos para os graus dias de aquecimento, enquanto Luanda não apresenta nenhum valor.

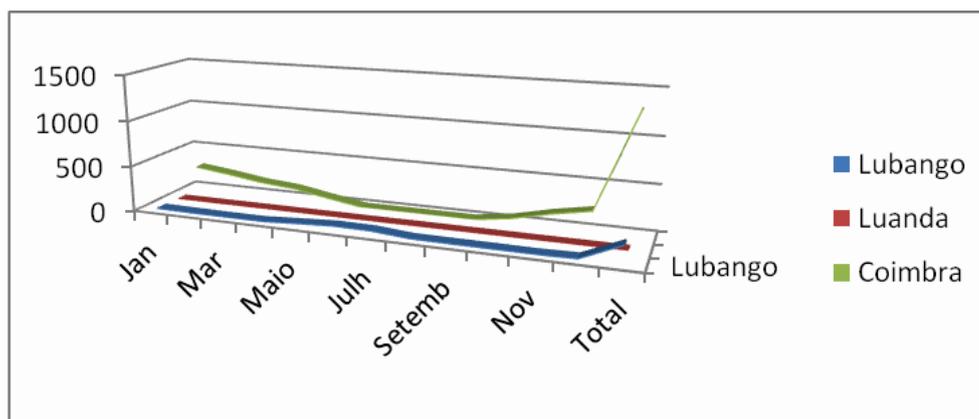


Figura 4.9 – Comparação dos Graus dias para a estação de aquecimento.

Lubango vai apresentar alguns graus dias na estação de aquecimento devido ao facto de se encontrar num clima subtropical temperado de altitude logo com temperaturas mais baixas e maiores amplitudes térmicas ao longo do ano, refletindo algumas necessidades de aquecimento nos meses de inverno, estação seca (Junho, Julho e Agosto) com temperaturas abaixo dos 18 °C. Contudo para este trabalho vai ser arbitrado um valor de 200 (°C.dia) para o caso de Luanda visto que a folha de cálculo baseada no REH (ITeCons 2013) utiliza este parâmetro para o cálculo das necessidades de aquecimento no inverno.

4.8.2 Parâmetros climáticos para a estação e aquecimento e arrefecimento

Tendo em vista a localização do edifício (altitude, latitude e longitude), vão ser consideradas as temperaturas exteriores de projeto, número de graus-dias, temperatura seca, temperatura húmida, amplitude térmica diária e radiação solar de cada cidade, que simultaneamente vão influenciar o cálculo higrométrico e térmico do edifício. Nos casos de Luanda e Lubango, estes valores são retirados de varias bases de dados climáticos disponível na internet (NASA 2015; BizEE Degree Days 2016; Google+ 2016; Climate-Data.org 2016), juntamente com os que vêm definidos no REH para Coimbra no despacho (extrato) n.º15793-f/2013 de 3 de dezembro (ITeCons, 2013a, pág. 101-pág.106) resulta a Tabela 4.12, que reflete o resumo de todos os parâmetros necessários a folha de cálculo baseada na metodologia de cálculo do respetivo regulamento, a utilizar posteriormente para verificar o comportamento higrotérmico das soluções construtivas das fachadas nos respetivos cenários climáticos.

Tabela 4.12 - Parâmetros climáticos para estação de aquecimento

Localização	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Temp. ext. do projeto de inverno (°C) $\theta_{ext,i}$	Amplitude térmica (°C)	Graus dias (GD) na base de 18	Humidade relativa de Inverno %
Coimbra	-8.42	40.2	67	6.3	9.7	17.6	1297	90
Lubango	13.52	-14.92	1760	3	16	16.70	200	50
Luanda	13.29	-8.84	5	3	20.9	18.4	“200”	80

Na Tabela 4.13 vem representado os valores da energia solar média mensal numa superfície vertical orientada a norte por mês, para os casos de Luanda e Lubango. Por serem as superfícies melhor orientadas, portanto, as que mais energia solar mensal numa superfície vertical recebem, assim será associado na folha de cálculo a orientação a sul para Coimbra (G_{sul}) e a orientação a norte para Luanda e Lubango (G_{norte}).

Tabela 4.13 - Energia solar mensal numa superfície vertical orientada a norte ou sul.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Julh	Ago	Set	Oct	Nov	Dez
Lubango	118	181.2	168.9	174.9	176.4	162	161.7	174.6	192	189	192	194
Energia solar média mensal numa superfície vertical orientada a norte por mês:						G_{norte} (KWh/m ² .mês)		179.6				
Luanda	158,4	180,6	194,1	199,8	192,6	176,7	161,40	157,5	166,8	168,3	166,8	155,4
Energia solar média mensal numa superfície vertical orientada a norte por mês:						G_{norte} (KWh/m ² .mês)		173.2				

Para os caso de Luanda e Lubango a energia solar média mensal numa superfície vertical orientada a norte por mês, vai ser retirado da internet (NASA 2015), e posteriormente substituído nas folhas de cálculo do CYPTERM baseada na metodologia de cálculo do REH (ITeCons 2013). No caso de Coimbra a energia solar média incidente numa superfície horizontal orientada a sul na estação de aquecimento, para a zona climática I2, é de $G_{sul}=140$ kWh/m² por mês, REH (ITeCons, 2013b, pág. 104).

Em particular o cálculo da energia solar incidente para os casos de Luanda e Lubango, referida na Tabela 4.14, foram retirados diretamente do CYPTERM, mesmo que não compreendidos na base de dados do programa, foi possível inserir no programa manualmente os valores da irradiação solar global diária mensal sobre superfície vertical de Luanda e Lubango, retirados da internet (NASA 2015), que reproduziu

automaticamente os valores pretendidos em função da orientação das fachadas do edifício, já para Coimbra a tabela reflete os valores do REH (ITeCons, 2013c, pág. 106).

Tabela 4.14 - Zoneamento Climático para a estação de arrefecimento.

Zona	$\theta_{ext,v}$ (°C)	Isol (kWh/m ²) acumulado na estação de arrefecimento								
		0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
Baixo Mondego	20.9	825	225	360	495	495	420	425	425	360
Lubango	18.8	-	-	360	360	495	495	495	-	360
Luanda	25.5	-	-	335	335	500	500	500	-	335

Para Coimbra vamos ter uma duração da estação de arrefecimento, $L_v = 4$ meses = 2928 horas (ITeCons, 2013d, pág. 105). Em Lubango e Luanda a estação de arrefecimento equitativamente corresponde na sua generalidade aos meses todos do ano à exceção dos meses secos que definem a estação de aquecimento que são Junho, Julho e Agosto, posto que Angola é um país que possui unicamente duas estações no ano as secas e as das chuvas, portanto, a duração da estação de arrefecimento, $L_v = 9$ meses = 6480 horas. Em que, $\theta_{ext,v}$ é a temperatura exterior média, (°C) e o Isol é a energia solar acumulada durante a estação de arrefecimento, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais (kWh/m²).

4.9 Ganhos e perdas pela envolvente exterior na estação de aquecimento.

Para a estação de aquecimento no que se refere a perda térmicas pelas envolvente exterior nos termos e para os efeitos do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e respetiva regulamentação, o presente despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, define que “ao longo da estação de aquecimento e devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, a transferência de calor por transmissão global, que ocorre através da envolvente, traduz-se em perdas de calor calculadas de acordo com a seguinte expressão; $Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i}$ (kWh) em que, GD é o número de graus-dias de aquecimento (°C.dia) e $H_{tr,i}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, (W/°C). As perdas de calor por ventilação correspondentes à renovação estação de aquecimento são calculadas de acordo com a equação, $Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i}$ (kWh) em que $H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot Pd$ (W/°C) em que $R_{ph,i}$ é a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, (h⁻¹); A_p é a área interior útil de pavimento, medida pelo interior em (m²); Pd é o pé direito médio da fração, (m); $H_{ve,i}$ é o coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, (W/°C)” (ITeCons, 2013a, pág. 54). No que diz respeito às

pontes térmicas lineares, não incluem a perda associada à ligação com a solução construtiva, já têm em conta o coeficiente de transmissão linear das ligações caixa de estore/parede e parede/janela na folha de cálculo. O mesmo se aplica as envolventes em contacto com espaços não úteis e com o solo, pois já têm em conta o coeficiente de redução de perdas (btr) na folha de cálculo (ADENE 2017).

Para a estação de aquecimento no que se refere a ganhos térmicos pelas envolvente exterior “nos termos e para os efeitos do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e respetiva regulamentação, o presente despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, define que a conversão da parte dos ganhos térmicos brutos que se traduzem em ganhos térmicos úteis faz-se de acordo com a seguinte expressão; $Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i}$ em que η_i é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento e $Q_{g,i}$ são os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, (kWh). Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas origens, conforme equação seguinte; $Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i}$ (kWh) em que $Q_{int,i}$ são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, (kWh); $Q_{sol,i}$ são os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, (kWh). Com exclusão do sistema de aquecimento, os ganhos térmicos internos incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, são calculados, durante toda a estação de aquecimento, de acordo com a seguinte equação; $Q_{int,i} = 0,72 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p$ em que q_{int} são os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m²; M é a Duração média da estação convencional de aquecimento, (mês) e A_p a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, (m²) (kWh) ” (ITeCons, 2013b, pág. 55).

4.9.1 Ganhos e perdas no cenário de Coimbra na estação de aquecimento

Através da folha de cálculo baseada no REH exportada pelo CYPTERM, vão ser analisados os ganhos e perdas térmicas para a estação de aquecimento, tal qual representado na Tabela 4.15, das soluções construtivas que constituem a envolvente exterior do edifício para o cenário de Coimbra (paredes do tipo P1 e vãos envidraçados do tipo V3).

Tabela 4.15 - Valor dos ganhos e perdas para o cenário de Coimbra

Ganhos no Inverno		(KWh)
$Q_{gu,i}$	63948,17	
Perdas no Inverno		
$Q_{tr,i}$	97861,5	
$Q_{ve,i}$	23985,3	
SOMA	121847	

Apresenta-se a representação gráfica dos ganhos e as perdas térmicas na estação de aquecimento, na Figura 4.10.

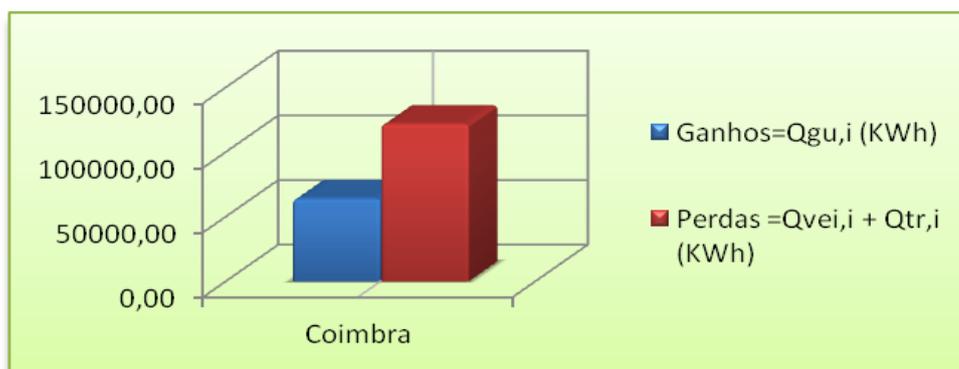


Figura 4.10 - Perdas e ganhos solares de inverno para o cenário de Coimbra.

Neste cenário construtivo de Coimbra (Paredes do tipo P1 e Envidraçados do tipo V3), a discrepância entre as perdas pela envolvente ($Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$) no inverno são claramente superiores aos ganhos solares brutos ($Q_{gu,i}$), sendo as perdas o dobro dos ganhos (52%), com $Q_{tr,i} + Q_{ve,i} = 121847$ (kWh/ano) e $Q_{gu,i} = 63948,17$ (kWh/ano). Pode-se concluir, que a tentativa de suprimir as necessidades para aquecimento no inverno através de aquecimento solar passivo por ganhos solares, unicamente, seria insuficiente para tentar compensar as necessidades de aquecimento.

4.9.2 Ganhos e perdas no cenário de Lubango na estação de aquecimento

Através da folha de cálculo baseada no REH, exportada pelo CYPTERM que posteriormente foi adaptada as condições climáticas de Lubango, vão ser analisados os ganhos e as perdas térmicas na estação de aquecimento, tal qual representado na Tabela 4.16 das soluções construtivas que constituem a envolvente exterior do edifício para este cenário (paredes do tipo P3 e vãos envidraçados do tipo V2).

Tabela 4.16 - Valor dos ganhos e perdas para o cenário de Lubango.

Ganhos no inverno		kWh
Ganhos= $Q_{gu,i}$	30642,99	
Perdas no Inverno		
Perdas = $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$	39864,29	

Eleva-se a representação, gráfica dos ganhos e as perdas térmicas na estação de aquecimento, na Figura 4.11.

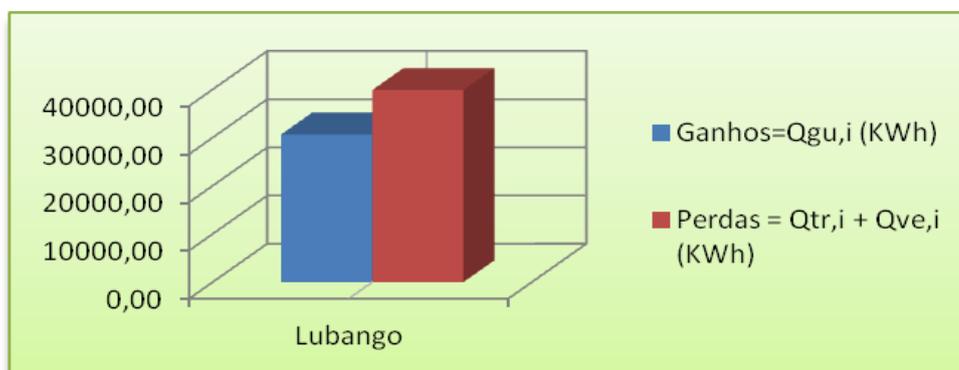


Figura 4.11 - Perdas e ganhos solares de inverno para o cenário de Lubango

Neste cenário construtivo, no inverno os ganhos solares brutos pela envolvente envidraçada ($Q_{gu,i}$) são muito próximos das perdas pela envolvente exterior ($Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$), ambos com valores elevados, o que implica uma envolvente exterior muito permissiva, pois concentra ganhos térmicos excessivos podendo tornar o ambiente interior desconfortável com o sobreaquecimento dos espaços interiores, simultaneamente, tem perdas térmicas excessivas o que implica uma séria desvantagem na época correspondente ao período de inverno em que as necessidades de aquecimento são maiores.

4.9.3 Ganhos e perdas no cenário de Luanda na estação de aquecimento

Mediante a folha de cálculo baseada no REH, exportada pelo CYPTERM que posteriormente foi adaptada as condições climáticas de Luanda, vão ser analisados os ganhos e as perdas térmicas na estação de aquecimento, tal qual representado na Tabela 4.17 das soluções construtivas que constituem a envolvente exterior do edifício para este cenário (paredes do tipo P2 e vãos envidraçados do tipo V1).

Tabela 4.17 - Valor dos ganhos e perdas para o cenário de Luanda.

Ganhos no inverno		kWh
Ganhos= $Q_{gu,i}$	23233,85	
Perdas no Inverno		
Perdas = $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$	23994,93	

Apresenta-se, a representação gráfica dos ganhos e as perdas térmicas na estação de aquecimento, na Figura 4.12.

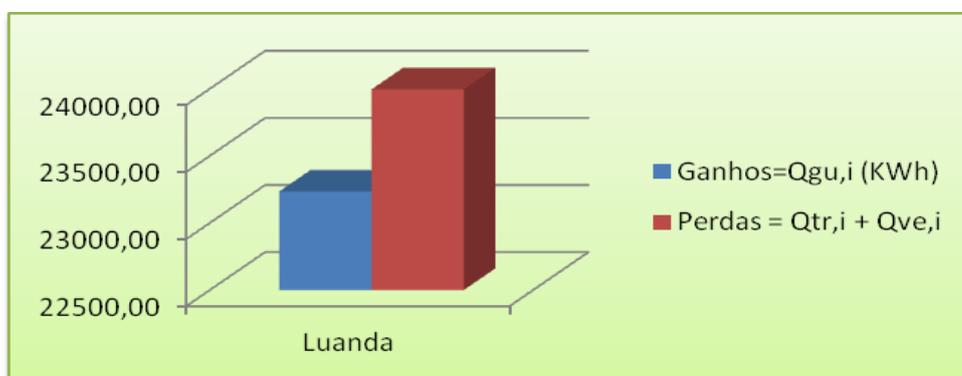


Figura 4.12 - Perdas e ganhos solares de inverno para o cenário de Luanda.

Neste cenário construtivo, no inverno os ganhos solares brutos pela envolvente envidraçada ($Q_{gu,i}$) são muito próximos das perdas pela envolvente exterior ($Q_{tr,i}$) e por ventilação ($Q_{ve,i}$), ambos com valores elevados, o que implica uma envolvente exterior muito permissiva e débil, pois concentra ganhos térmicos excessivos tornando o ambiente interior desconfortável com o sobreaquecimento dos espaços interiores, simultaneamente, tem perdas térmicas excessivas o que implica uma séria desvantagem na época correspondente ao período de inverno em que as necessidades de aquecimento são maiores.

4.9.4 Relação entre N_{ic}/N_i , N_{vc}/N_v e N_{tc}/N_t

De acordo, com o REH na Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro “ Para edifícios de habitação existentes sujeitos a grande intervenção a relação entre os valores de necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e energia primária e o seu limite, devem verificar os valores indicados na Tabela I.04 e em função do ano de construção do edifício.” (ITeCons, 2013, pág. 43).

4.9.4.1 Cenário de Coimbra

A Figura 4.13 representa a relação entre os valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, inclusive a energia primária, e os seus limites no edifício em estudo (Hotel) com o contributo das paredes do tipo P1 com vãos envidraçados do tipo V3, para o cenário de Coimbra obtidas através da folha de cálculo produzida pelo CYPETERM.

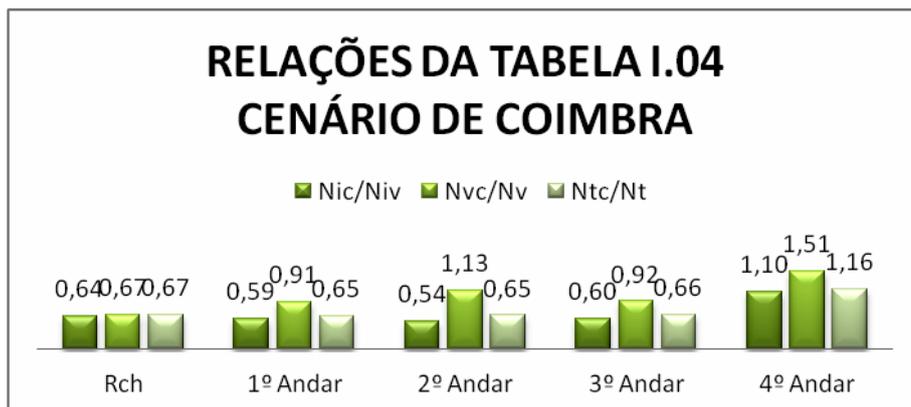


Figura 4.13 – Relações gráficas, retirados da folha de cálculo do REH para Coimbra.

Da análise do gráfico, verifica-se que as relações entre os valores das necessidades nominais para aquecimento e arrefecimento e os seus limites, Nvc/Nv e Ntc/Nc se encontram dentro do regulamentar, contudo, para o 4º piso, denota-se uma ligeira extrapolação das necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento do edifício. Por ventura, dever-se-á ao fato de o 4º piso, estar em contacto com o 5º piso (piso técnico), que suporta a cobertura, que por seu turno é um espaço não útil, com uma envolvente exterior mais “débil”, composta na sua maior parte por vãos envidraçados, mais exposta e suscetível a intempérie, no que lhe concerne, durante a estação de aquecimento, poderá albergar substancialmente ganhos solares.

4.9.4.2 Cenário de Lubango

A Figura 4.14 representa a relação entre os valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, inclusive a energia primária, e os valores dos seus limites no edifício em estudo (Hotel) com o contributo das paredes do tipo P3 e vãos envidraçados do tipo V2, obtidas através da folha de cálculo produzida pelo CYPETERM.

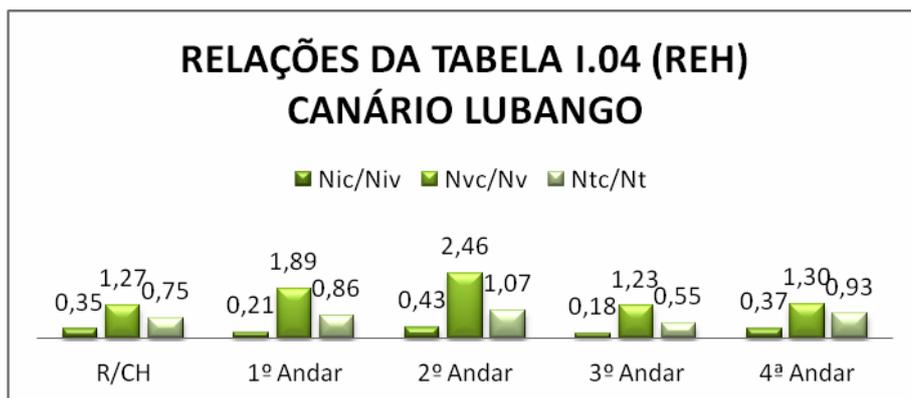


Figura 4.14 – Relações gráficas, retirados da folha de cálculo do REH para Lubango.

Neste caso são unicamente extrapolados os valores da relação entre as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento e o seu limite no piso 1 e piso 2. Contudo os valores da relação da energia primária para aquecimento e seu limite estão muito abaixo do regulamentar inclusive para os pisos 1 e 2, em virtude de, as diferenças entre as temperaturas interiores e exteriores serem reduzidas e os graus dias de aquecimento na base 18 °C serem bastante baixos, o que produz menores necessidades para aquecer os espaços interiores.

Neste tipo de cenário situado em climas subtropicais em que as temperaturas médias são relativamente altas com amplitudes térmicas moderadas, pode acontecer que se houver ganhos excessivos pela envolvente opaca ou envidraçada, e não existir um sistema de ventilação natural eficaz pode conduzir ao sobreaquecimento dos espaços o que implica maiores necessidades para arrefecimento, daí o fato dos valores extrapolados. Portanto pode se concluir que das soluções construtivas proposta para constituir a envolvente exterior (opaca e envidraçada) uma não têm uma resposta proporcional na redução de ganhos solares excessivos.

4.9.4.3 Cenário de Luanda

A Figura 4.15 representa a relação entre os valores das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, inclusive a energia primária, e os seus limites no edifício em estudo (Hotel) com o contributo das paredes do tipo P2 com vãos envidraçados do tipo V1, para o cenário de Luanda obtidas através da folha de cálculo produzida pelo CYPETERM.

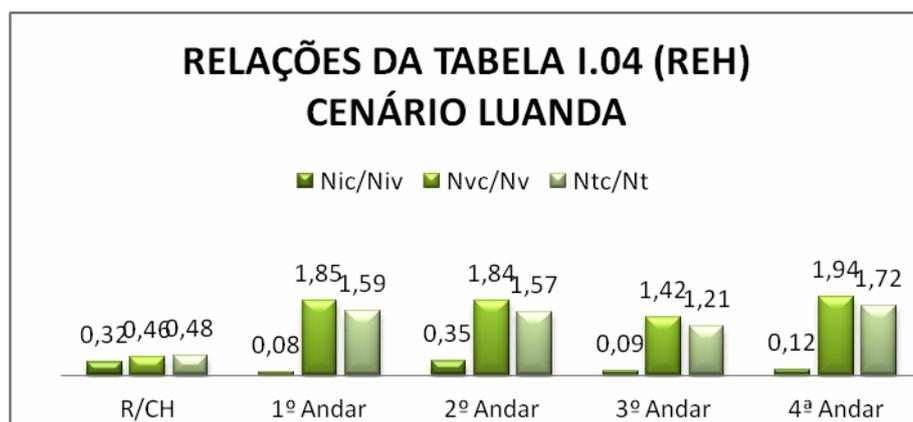


Figura 4.15 – Relações gráficas, retirados da folha de cálculo do REH para Luanda.

Facilmente se constata o já referido anteriormente, portanto, um edifício com uma envolvente exterior mais débil, vai refletir, dificuldades substanciais no desempenho energético global. Existe uma clara extrapolação dos valores das necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento, no 1º, 2º e 4º piso, que vai influenciar, de resto o desempenho do edifício na sua totalidade. Contudo, verificam-se que as necessidades nominais de aquecimento são relativamente baixas, devido ao encaixe climático, pois trata-se de um clima semiárido com temperaturas elevadas, constantes ao longo do ano, sem grandes variações de amplitude entre o período noturno e diurno o que proporciona temperaturas interiores isentas de aquecimento. Quase se pode afirmar que, um clima semiárido, apresenta vantagens em relação aos climas áridos, como os casos das cidades costeiras referenciadas a sul de Benguela até a fronteira com a Namíbia, efetivamente nos climas áridos as amplitudes térmicas diurnas e noturnas sofrem grandes variações, o que implica temperaturas extremamente altas durante dia e simultaneamente baixas durante noite, imputando exigências muito peculiares no que respeita as necessidades nominais anuais para aquecimento.

4.10 Necessidades de aquecimento e de arrefecimento

Segundo o REH “as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são determinadas, para efeitos do despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 13790, Nic, é calculado pela expressão seguinte; $Nic = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p$ (kWh/m².ano). Em que $Q_{tr,i}$ são as transferências de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, (kWh); $Q_{ve,i}$ são as transferências de calor por ventilação na estação de aquecimento, (kWh); $Q_{gu,i}$ são os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, (kWh); e o A_p a Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior (m²)” (ITeCons, 2013a,

pág. 53). “As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento são determinadas, de acordo com a seguinte expressão; $N_{vc} = (1-\eta_v) Q_{g,v} / A_p$ (kWh/m².ano); em que η_v é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento; $Q_{g,v}$ são os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, (kWh) e A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, (m²) ” (ITeCons, 2013b, pág. 58). O decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, artigo 26º define que “a razão entre o valor de N_{ic} de um edifício sujeito a grande intervenção, calculado de acordo com o definido pela DGEG, e o valor de N_i não pode exceder o determinado em portaria do membro do Governo responsável pela área da energia.

4.10.1 Necessidades nominais de energia útil para o cenário de Coimbra

A Tabela 4.18 apresenta os valores das necessidades nominais e anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, das soluções construtivas empregadas no caso de Coimbra com paredes do tipo P1 com vãos envidraçados do tipo V3, obtidas através da folha de cálculo produzida pelo CYPETERM. Apesar de os casos de estudo serem única e exclusivamente aplicados ao contributo das fachadas para o comportamento higrométrico dos edifícios, apresentar-se-á também uma possível classe energética do edifício (R) constituído pelas respetivas soluções construtivas, neste caso obtido através da media total da relação entre necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) e o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia primária (N_t), R (medio) = N_{tc}/N_t de cada piso, isto tudo, com o intuito de melhor perceber o contributo da envolvente exterior em estudo no edifício em questão. “A classificação do edifício segue uma escala pré-definida de 8 classes (A+, A, B, B-, C, D, E e F), em que a classe A+ corresponde a um edifício com melhor desempenho energético, e a classe F corresponde a um edifício de pior desempenho energético (ADENE 2017).

Tabela 4.18 - Valor das necessidades nominais para Coimbra.

Pisos	N _{ic}	N _i	N _{vc}	N _v	N _{ac}	N _a	N _{tc}	N _t	R (medio)
R/CH	37,49	58,20	6,15	9,21	2,88	3,20	46,67	69,79	0.72 (B-)
1º Piso	34,04	57,34	8,38	9,21	3,04	3,38	44,72	69,11	
2º Piso	27,77	51,80	10,36	9,21	3,08	3,42	41,37	63,62	
3º Piso	30,74	51,45	8,47	9,21	3,06	3,40	41,53	63,25	
4º piso	33,13	30,15	13,89	9,23	3,05	3,39	48,74	41,95	

À exceção do 4º piso, em mais nenhuma das frações foram excedidos os valores regulamentares para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, contudo, existe extrapolação das necessidades nominais anuais de energia arrefecimento

tanto no piso 4 como no piso 2. Em suma, só no quarto piso é excedido o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento limite, $N_{ic} > N_i$ e $N_{vc} > N_v$. Por conseguinte, para o cenário construtivo de Coimbra, na globalidade, o edifício vai apresentar uma classificação energética média de B-, o que reflete algumas limitações da envolvente exterior e que proporciona debilidades no seu comportamento higrotérmico e reduz a sua eficiência energética.

4.11 Necessidades nominais de energia útil para o cenário de Lubango

A Tabela 4.19 apresenta os valores das necessidades nominais e anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, das soluções construtivas empregadas no caso de Lubango com paredes do tipo P3 com vãos envidraçados do tipo V2, obtidas através da folha de cálculo produzida pelo CYPETERM, adaptada às condições locais. Apesar de, os casos de estudo serem única e exclusivamente aplicados ao contributo das fachadas para o comportamento higrométrico dos edifícios, apresentar-se-á também uma possível classe energética do edifício (R) constituído pelas respetivas soluções construtivas, neste caso obtido através da média total da relação entre necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) e o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia primária (N_t), R (médio) = N_{tc}/N_t de cada piso, isto tudo, com o intuito de compreender melhor qual o contributo da envolvente exterior em estudo no edifício em questão.

Tabela 4.19 - Valor das necessidades nominais para Lubango.

Pisos	N_{ic}	N_i	N_{vc}	N_v	N_{ac}	N_a	N_{tc}	N_t	R (medio)
R/CH	5,12	14,46	13,03	10,29	2,86	3,18	21,15	28,10	0.82 (B-)
1º Piso	2,71	12,89	15,22	8,03	3,01	3,34	21,10	24,44	
2º Piso	7,03	16,52	19,79	8,03	3,05	3,39	30,04	28,11	
3º Piso	3,19	17,67	9,85	8,03	3,03	3,36	16,23	29,25	
4º piso	1,85	4,98	10,41	8,03	3,02	3,18	15,44	16,54	

Neste cenário construtivo com paredes do tipo P3 e vãos envidraçados do tipo V2, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, em relação aos seus limites, não foram exercidas em nenhum dos pisos. Em virtude do que já tinha sido dito, pelo fato de as diferenças entre as temperaturas interiores e exteriores serem reduzidas e os graus-dias de aquecimento, na base dos 18°C, serem bastante baixos, vai haver menor necessidade de aquecer os espaços interiores. Contudo, em todos os pisos ouve uma clara extrapolação das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, que dá a

indicação de um sobreaquecimento dos espaços comuns, que reflete necessidades de arrefecimento elevadas, pondo o edifício numa situação de desconforto interior para os ocupantes, mas também com pouca eficiência energética uma vez que poderá ter de compensar as necessidades de arrefecimento com aparelhos mecânicos o que implica consumos elevados de energia.

4.12 Necessidades nominais de energia útil para o cenário de Luanda

A Tabela 4.20 apresenta os valores das necessidades nominais e anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, das soluções construtivas empregadas no caso de Luanda com paredes do tipo P2 com vãos envidraçados do tipo V1, obtidas através da folha de cálculo produzida pelo CYPETERM, adaptada às condições locais. Apesar de os casos de estudo serem única e exclusivamente aplicados ao contributo das fachadas para o comportamento higrométrico dos edifícios, apresentar-se-á também uma possível classe energética do edifício (R) constituído pelas respetivas soluções construtivas, neste caso obtido através da média total da relação entre necessidades nominais anuais de energia primária (Ntc) e o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia primária (Nt), $R \text{ (médio)} = Ntc/Nt$ de cada piso, isto tudo, com o objetivo de compreender qual o contributo da envolvente exterior em estudo no edifício em questão.

Tabela 4.20 - Necessidades nominais para aquecimento e arrefecimento para Luanda.

Pisos	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt	R (medio)
R/CH	1,18	3,68	14,98	32,88	2,86	3,18	19,17	39,90	1.31(C)
1º Piso	0,32	4,02	60,86	32,88	3,01	3,34	64,34	40,41	
2º Piso	1,88	5,40	60,47	32,88	3,05	3,39	65,56	41,84	
3º Piso	0,51	5,39	46,79	32,88	3,03	3,36	50,49	41,81	
4º piso	0,31	2,60	63,69	32,88	3,02	3,35	67,17	39,00	

Neste caso de estudo existem debilidades consideráveis ao utilizar este tipo de envolventes, paredes do tipo P2 e vãos envidraçados do tipo V1, com coeficientes de transmissão térmica elevados, pelo que podemos constatar que, à exceção do R/CH, todas as frações vão exceder as necessidades nominais de arrefecimento limite. Em consequência da localização e do clima bastante adverso, o edifício em questão não vai conseguir compensar as necessidades para arrefecimento, sendo esta a sua maior debilidade. Em suma, o edifício vai apresentar uma má qualidade do ambiente interior, com dificuldades em suprimir as necessidades de arrefecimento no que lhe concerne, leva a gastos

excessivos de energia e emissões anuais de gases de efeito de estufa elevados para suprimir estas necessidades de arrefecimento.

4.13 Propostas de melhoria através de sistemas solares passivos

De acordo com a alínea 6) e 8) do artigo 28º do regulamento REH “O recurso a sistemas passivos que melhorem o desempenho energético do edifício deve ser promovido nas grandes intervenções a realizar, e o respetivo contributo deve ser considerado no cálculo das necessidades de energia do edifício, com base em normas europeias ou regras definidas para o efeito pela DGEG. Este fica sujeito ao cumprimento dos valores de coeficiente de transmissão térmica de referência para a envolvente opaca e vãos envidraçados, assim como ao cumprimento do fator solar máximo dos vãos envidraçados, para efeitos de verificação dos requisitos de comportamento térmico (ITeCons, 2013a, pág. 21). Nos casos de estudo (Coimbra, Lubango e Luanda), as medidas de melhoria das soluções construtivas dos edifícios, incidirão essencialmente nas envolvente opaca do edifício, onde serão tomadas alterações, que visem uma elevada viabilidade tanto económica, como energética das soluções construtivas consequentemente do edifício, adequada à região em questão, portanto, soluções fáceis de implementar, simples e práticas, sem recurso a combustíveis fósseis, mais próximas de uma solução passiva ou bioclimática.

4.13.1 Dispositivos de proteção solar e ventilação

Nos próximos passos, admitiremos, a implantação de medidas de melhoria nas fachadas para redução dos consumos de energia para arrefecimento, com recurso a sistemas solares passivos, através de dispositivos de proteção solar e ventilação natural. Sistemas de sombreamento exterior, com recurso a lâminas de sombreamento, incorporadas (parte da estrutura) ou técnicas (metálicas, fixas ou ajustáveis). Ventilação natural, com recurso a um, ou vários, sistemas de ventilação natural, tais como: Ventilação natural por condutas e efeito chaminé, com admissão de ar através de aberturas com grelhas nos vãos envidraçados. De acordo com o despacho (extrato) n.º 15793-E/2013 REH, “Para efeitos de cálculo dos ganhos solares brutos, o produto necessário à determinação dos ganhos solares através de cada vai envidraçado, poderá ser determinado de uma forma expedita, dispensando a avaliação rigorosa dos ângulos formados por elementos horizontais ou verticais. Na estação de aquecimento, o produto $F_s.F_g$ poderá ser calculado assumindo os valores indicados na Tabela 0.5, em que F_s é o fator de obstrução dos vãos envidraçados e F_g é a fração envidraçada. Na estação de arrefecimento, o produto $F_s.F_g$ poderá ser calculado assumindo os valores indicados na Tabela 0.6” (ITeCons, 2013b, pág. 121-122).

4.13.2 Cenário de Coimbra

Relativamente ao sombreamento de vãos envidraçados para reduzir os ganhos solares durante a estação de arrefecimento e otimizá-los durante a estação de aquecimento, vão ser utilizados sistemas de proteção solar lamelar ou palas horizontais. Para perceber o seu efeito na folha de cálculo, os valores de $F_s \cdot F_g$ que vão ser substituídos estão referidos na Figura 4.16.

Regra de Simplificação	Regras de aplicação	Regras de Simplificação	Regras de aplicação
Sem sombreamento $F_s \cdot F_g = 0,63$ ($F_s = 0,90$; $F_g = 0,70$)	- Envidraçados orientados a Norte; - Envidraçados nas restantes orientações, sem obstruções do horizonte e sem palas.	Sem sombreamento $F_s \cdot F_g = 0,63$	- Envidraçados orientados a norte; - Envidraçados nas restantes orientações, sem palas horizontais.
Sombreamento Normal/Standard $F_s \cdot F_g = 0,32$ ($F_s = 0,45$; $F_g = 0,70$)	- Envidraçados não orientados a Norte, com obstruções do horizonte ou palas que conduzam a um ângulo de obstrução inferior ou igual a 45°.	Sombreamento Normal/Standard $F_s \cdot F_g = 0,56$	- Envidraçados não orientados a Norte, com palas que conduzam a um ângulo de obstrução inferior ou igual a 45°.
Fortemente sombreado $F_s \cdot F_g = 0,19$ ($F_s = 0,27$; $F_g = 0,70$)	- Envidraçados não orientados a Norte, com obstruções do horizonte ou palas que conduzam a um ângulo de obstrução claramente superior a 45°.	Fortemente sombreado $F_s \cdot F_g = 0,50$	- Envidraçados não orientados a Norte, com palas que conduzam a um ângulo de obstrução claramente superior a 45°.

Figura 4.16 - Valor do produto do $F_s \cdot F_g$ para os ganhos no Inverno à esquerda e para o Verão à direita (ITeCons 2013).

Relativamente à ventilação segue-se a metodologia da folha de cálculo do LNEC com ventilação natural através de condutas e admissão de ar nos vãos envidraçados, localizados nas fachadas em que existe incidência de ventos fortes, em que no caso de Coimbra, corresponde às fachadas de maior geometria, portanto, a Noroeste e Sudeste. Este tipo de ventilação funciona, em grande parte, tal qual, a ventilação cruzada, contudo o ar é distribuído por condutas e exaustores Ventax, para os respetivos compartimentos e extraído da mesma forma, por condutas com saída pela cobertura, tal como representado na Figura 4.17.

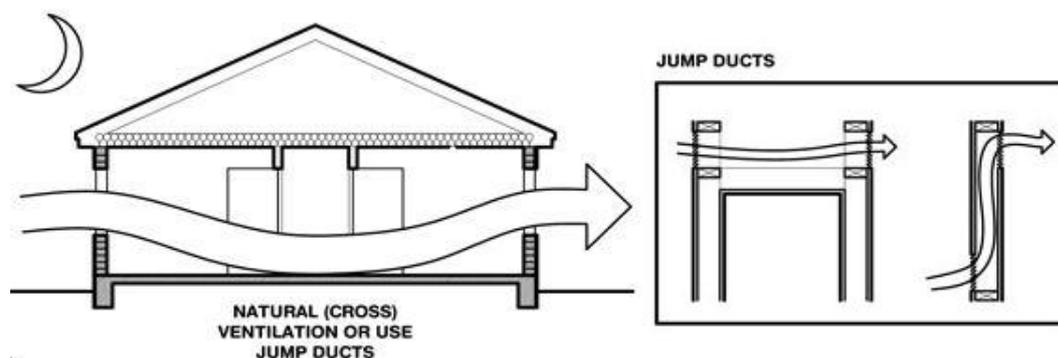


Figura 4.17 - Exemplo de ventilação natural por condutas.

Para calcular as novas renovações de ar, neste tipo de situação foi utilizada a folha de cálculo do LNEC para ventilação natural, da qual saíram os valores apresentados na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - Renovações horárias de ar a substituir na folha de cálculo (LNEC).

Balço de Energia – Edifício por piso					
Fração	R/CH	1º Andar	2º Andar	3º Andar	4º Andar
$R_{ph,i}$ (h-1) - Aquecimento	0,40	0,40	0,40	0,4	0,4
$R_{ph,v}$ (h-1) - Arrefecimento	2.5	2.5	1.5	2.0	2.5
Balço de Energia - Edifício de Referência					
$R_{ph,i REF}$ (h-1)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Critério R_{ph} mínimo	Ótima	Satisfatório	Satisfatório	Ótima	Ótima

Com o sistema de ventilação natural por condutas, apresentado as novas renovações horárias de referência para o inverno ($R_{ph,i,ref}$), vão estar muito acima dos valores regulamentares definidos no REH para a mesma estação, portanto, este tipo de ventilação, tem de usufruir de meios para restrição de admissão de ar durante o período de aquecimento, de modo a que o $R_{ph,i}$ seja menor ou igual a 0,4. Poder-se-á recorrer a sistemas de indução de ar através de tubagens enterradas via subterrâneo onde a admissão é feita em pontos exteriores estratégicos, portanto, zonas de ventos fortes, em que os problemas das perdas por ventilação desaparecem, dado que, o ar pelo efeito da inércia do solo fica quente no inverno e frio no verão.

Foram feitos testes na folha de cálculo do CYPTERM em que se aplicou sistemas solares passivos no edifício, nomeadamente, sistemas de proteção solar lamelar horizontais de proteção nos vãos envidraçados, bem como a ventilação natural por condutas. Os resultados da Figura 4.18 foram produzidos pela folha de cálculo quando substituídos os valores simplificados da Figura 4.16 nos vãos envidraçados, e os valores de renovações horárias da Tabela 4.21 na folha de cálculo. Importa referir que a simplificação utilizada

para os sistemas de proteção solar foram fortemente sombreado a Sul, Oeste e Este, normal/standard ou sem a Norte.

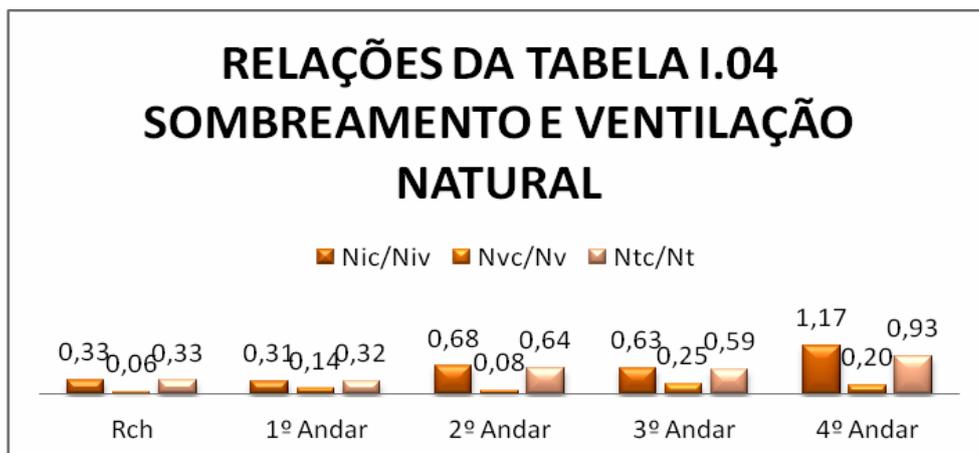


Figura 4.18 - Relação entre as necessidades nominais anuais para a energia, Coimbra.

Para melhor entender os efeitos dos sistemas solares passivos referidos anteriormente, na envolvente exterior do edifício, na Tabela 4.22 reflete comparação finais das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento antes da intervenção e depois da intervenção.

Tabela 4.22 – Comparações entre o cenário original e melhorado, Coimbra.

	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt	R (Classe Energética)
Original	32,63	49,79	9,45	9,21	3,02	3,36	44,61	61,55	0,72 (B-)
Melhorado	35,43	68,86	1,35	9,21	3,02	3,36	39,83	80,62	0,49 (A)
Redução (-)	+7,9%	+28%	-86%	-	-	-	- 11%	+24%	- 32%
Aumento (+)									

Dados os resultados obtidos na folha de cálculo, podemos facilmente perceber que os dispositivos de proteção solar lamelares, juntamente com uma ventilação natural por condutas, vai beneficiar em muito na redução de necessidades para arrefecimento, reduzindo os consumos para arrefecimento em 86% relativamente à solução original, contudo, vai haver um ligeiro aumento nas necessidades nominais de energia para aquecimento em 7.9%, tudo devido ao facto de os sistemas de proteção solar fixos, ativados durante o inverno, poderem interferirem muito ligeiramente nos ganhos solares o que leva a um aumento ligeiro das necessidades de aquecimento no inverno. A proteção solar dos vãos envidraçados e a ventilação natural por condutas, melhora em muito o comportamento higrotérmico das fachadas, logo do edifício, com uma classificação

energética inicial de B-, o contributo das fachadas com dispositivos, vai passar automaticamente o edifício para uma classe A. De uma análise global dos resultados, facilmente podemos perceber que o emprego de sistemas solares passivos para arrefecimento, melhoram em muito, a qualidade do ambiente interior do edifício no verão, por seu turno, otimiza os consumos energéticos levando a reduções substanciais nos consumos de energia nas necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento, o que num ano de consumos reflete poupanças substanciais nas faturas das despesas de energia e reservas quanto à ventilação mecânica, podendo ser evitado o seu uso.

4.13.3 Cenário de Lubango

Equitativamente ao cenário anterior, empregar-se-ão neste cenário construtivo (Lubango), dispositivos de proteção lamelares ou palas de proteção verticais, com simplificação dos ganhos brutos solares, na folha de cálculo do cenário construtivo prévio, dispostas nas tabelas do REH (ITeCons, 2013, pág. 121-122) representadas na Figura 4.16. Ademais, em climas tropicais, um sistema de ventilação natural pode ser eficaz para ventilar as zonas úteis habitáveis, com o intento de melhorar o conforto interior, baixando assim as temperaturas interiores, produzidas por ganhos solares excessivos, inclusive, reduzir unidades interiores existentes, incómodas neste tipo de climas. A proposta, para este cenário construtivo e climático, incide sobre uma ventilação natural por efeito chaminé ou chaminé de calor, presumindo-se adequada para o efeito, no qual são utilizadas aberturas zenitais para extrair o calor de dentro do edifício para o exterior e fazer circular o ar por conseguinte, resultando na renovação do ar interior e esfriamento de edifício por ventilação natural, a título de exemplo é apresentada a Figura 4.19.

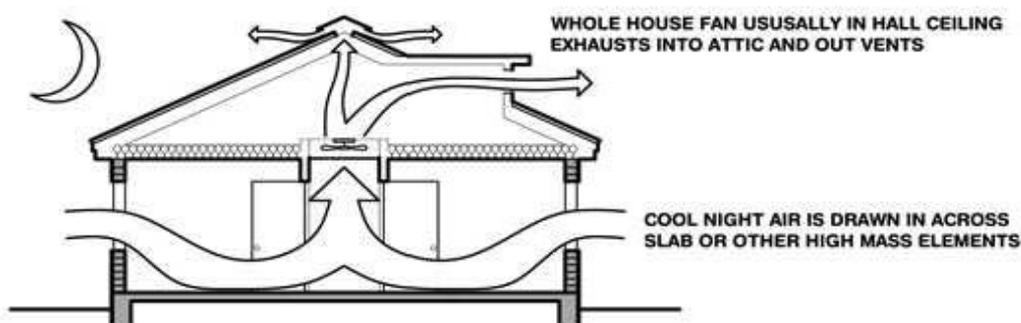


Figura 4.19 - Ventilação natural através de efeito chaminé (Fonte: climateconsulting).

Neste caso vamos obter as novas renovações horarias com a ajuda do chaminé 2.5, que é um software que verifica o conforto interior dos edifícios quando submetidos a ventilação natural por efeito chaminé, desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP). Criado para verificar os resultados de apreciação qualitativa de ventilação natural por efeito de

chaminé em climas subtropicais, podemos calcular as novas renovações de ar necessárias no verão para reduzir as necessidades de arrefecimento inclusive as de aquecimento da qual saíram os valores apresentados na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Renovações horárias de ar a substituir na folha de cálculo.

Balço de Energia – Edifício por piso					
Fração	R/CH	1º Andar	2º Andar	3º Andar	4º Andar
Temp. interior – Temp. ext. °C	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1
$R_{ph,i}$ (h-1) - Aquecimento	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
$R_{ph,v}$ (h-1) - Arrefecimento	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Carga removida em (W)	1263	1263	1263	1263	1263
Balço de Energia - Edifício de Referência					
$R_{ph,i REF}$ (h-1)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Caudal mínimo de ventilação					
Caudal (m3/h)	1272	1262	1262	1262	1262

Foram feitos testes na folha de cálculo do CYPTERM em que se aplicou sistemas solares passivos no edifício, nomeadamente, sistemas de proteção solar lamelar ou palas de proteção nos vãos envidraçados, bem como a ventilação natural por condutas. Os resultados da Figura 4.20 foram produzidos pela folha de cálculo quando substituídos os valores simplificados da Figura 4.16 e os valores de renovações horárias da Tabela 4.23 na mesma. Importa referir que, a simplificação utilizada para os sistemas de proteção solar foram fortemente sombreados a Norte, Oeste e Este, normal/Standard a Sul, uma vez que a exposição solar no hemisfério sul é diferente do hemisfério norte.

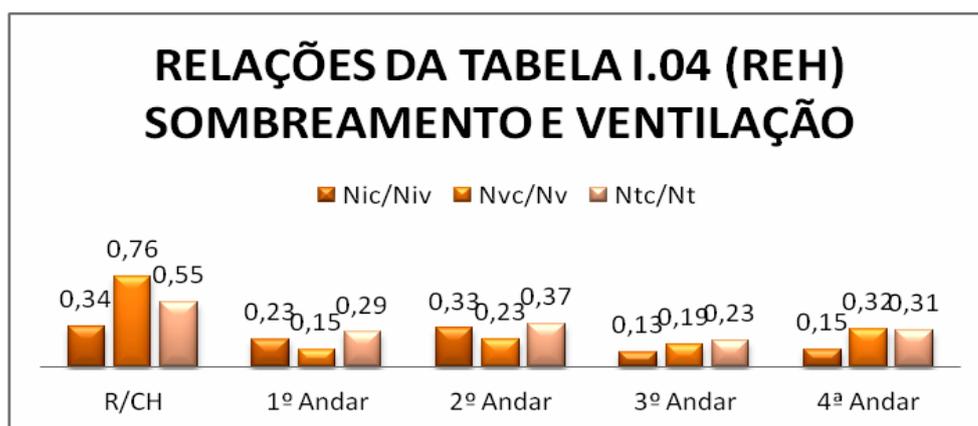


Figura 4.20 - Relação entre as necessidades nominais anuais para a energia, Lubango.

Para melhor entender os efeitos dos sistemas solares passivos referidos anteriormente na envolvente do edifício a Tabela 4.24 define as comparações finais das necessidades

nominais de energia para aquecimento e arrefecimento antes da intervenção e depois da intervenção.

Tabela 4.24 – Comparações entre o cenário original e melhorado, Lubango.

	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt	R (Classe Energética)
Original	3,32	11,09	11,38	7,07	2,99	3,29	17,33	21,07	0,82 (B-)
Melhorado	3,51	14,72	2,51	7,07	3,06	3,29	8,65	24,70	0,35 (A)
Redução (-) Aumento (+)	+5%	+24%	-77%	-	-	-	-50%	+15%	-57%

Para o caso de Lubango, com sombreamento lamelar nos vãos envidraçados e ventilação natural, através, do efeito chaminé, vamos obter, para as necessidades anuais globais estimadas de energia primária, uma redução em 50% nos consumos energéticos, portanto, redução na classe energética de um (B-) para um (A). Contudo, tal como no caso de Coimbra vai sofrer um ligeiro aumento nas necessidades nominais de energia útil para aquecimento em 5%, tudo pelo mesmo motivo já anteriormente referido, no caso de Coimbra, uma ligeira restrição dos ganhos solares no inverno, pelos dispositivos de sombreamento. A implantação de dispositivos solares passivos para arrefecimento, melhora em muito o comportamento higrotérmico das fachadas logo do edifício, otimizando os consumos energéticos levando a reduções substanciais nas necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento em 77%, tornando o edifício no geral bastante económico e com uma qualidade de ambiente interior deveras ótima.

4.13.4 Cenário de Luanda

Para o cenário construtivo de Luanda foram considerados, dispositivos de proteção solar lamelar (o mais restringível possível de ganhos solares) e congênere ventilação natural ao caso de Lubango. Desse modo, será empregue na folha de cálculo deste cenário, valores de ganhos solares brutos simplificados da Figura 4.16, como nos casos anteriores, ao passo que os valores de renovação de ar, serão calculados da mesma forma como foram para o caso de Lubango com o Software chaminé 2.5. Assim sendo as novas renovações horarias a substituir na folha de cálculo são os referidos na Tabela 4.25. Importa ainda referir que a simplificação utilizada para os sistemas de proteção solar foram fortemente sombreado a Norte, Oeste e Este, normal/Standard a Sul.

Tabela 4.25 - Renovações horárias de ar a substituir na folha de cálculo

Balço de Energia – Edifício por piso					
Fração	R/CH	1º Andar	2º Andar	3º Andar	4º Andar
Temp. Interior – Temp. ext. °C	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$R_{ph,i}$ (h-1) - Aquecimento	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
$R_{ph,v}$ (h-1) - Arrefecimento	2.5	2.2	1.8	2.8	2.6
Carga removida em (W)	1263	1263	1263	1263	1263
Balço de Energia - Edifício de Referência					
$R_{ph,i REF}$ (h-1)	1	1	0.6	1	1
Caudal mínimo de ventilação					
Caudal (m ³ /h)	3022	2503	2044	3144	2972

Dos testes feitos na folha de cálculo do CYPTERM em que se aplicou sistemas solares passivos no edifício, nomeadamente, sistemas de proteção solar lamelar nos vãos envidraçado, bem como ventilação natural por efeito de chaminé, pôde-se verificar com as relações das necessidades para energia nominal e seus limites, tal como representado na Figura 4.21, o efeito de melhoria do comportamento higrotérmico do edifício pós intervenção.

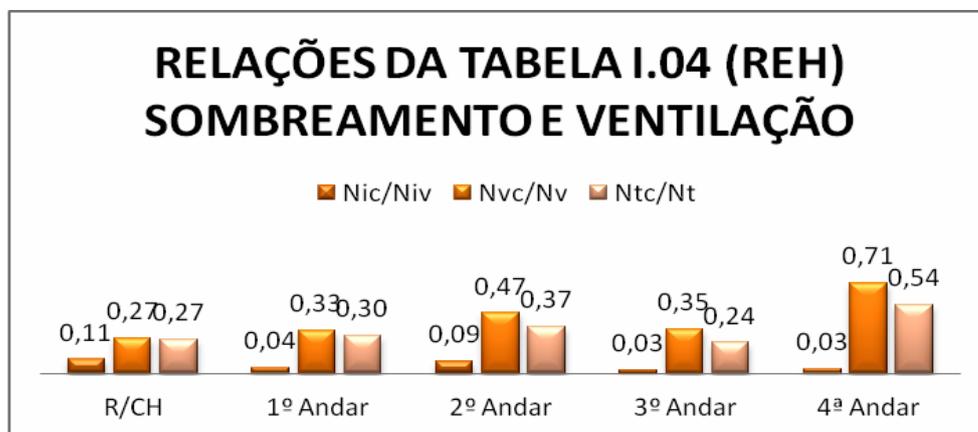


Figura 4.21 - Relações entre as necessidades nominais anuais de energia, Luanda.

Para melhor perceber os efeitos dos sistemas solares passivos referidos anteriormente na envolvente do edifício, a Tabela 4.26 reflete comparação finais das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento antes da intervenção e depois da intervenção.

Tabela 4.26 – Comparações entre o cenário original e melhorado, Luanda.

	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt	R (Classe Energética)
Original	0,70	3,51	41,13	32,88	2,99	3,32	44,46	33,83	1.31 (C)
Melhorado	0,88	14,83	11,81	33,08	2,99	3,32	15,31	45,31	0.34 (A)
Redução (-) Aumento (+)	+20%	+76%	-71%				-65%	+25%	-74%

Inicialmente a solução construtiva mais débil apresenta-se como a que melhor vai reagir às alterações implementadas, com sistemas solares passivos, nomeadamente, sombreamento dos vãos envidraçados através de lamelas de proteção e ventilação natural por efeito chaminé. Isto tudo, deve-se em muito ao facto de ser uma envolvente exterior permissiva sem isolamento, com uma inércia média que favorece o esfriamento evaporativo. Tal como, tinha sido verificado, anteriormente no Software de consultadoria para sistemas solares passivos, analysis 2.0.

Portanto, uma proposta de melhoria das fachadas com sistemas de proteção solar lamelar vais restringir em muito os ganhos excessivos de calor adquiridos pela envolvente opaca e envidraçada, já a proposta de ventilação natural por efeito chaminé que vai retirar o ar quente do edifício, levando isto tudo a uma redução nas necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento em 65%, o que faz com que o contributo das fachadas melhoradas seja bastante significativo na melhoria da classe energética do edifício passando de uma classe (C) para se obter uma classe (A), sendo esta a melhor reposta até agora em relação aos casos anteriores.

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações finais acerca da pesquisa bibliográfica

A relação da arquitetura e do urbanismo com o lugar e o clima, no último século evoluíram de forma muito rápida e descontextualizada, devido ao facto de termos de dar resposta às necessidades habitacionais dos grandes centros e lugares mais povoados. Entretanto, esta forma de arquitetura dita corrente de cidades e edifícios, tornou complicado relacionar as novas expansões urbanas com um lugar e um clima específico, ou com uma determinada cultura. Só o sector habitacional é o terceiro maior consumidor de energia, depois dos sectores dos transportes e das indústrias, são consumidos cerca de 42% para o aquecimento e para a iluminação de edifícios, com recurso a combustíveis fósseis, que produzem 35% de gases poluentes. Em virtude disso, o planeta enfrenta diversos problemas, causados em parte, pela saturação demográfica, portanto, em proporção, a população mundial, produz, extrai e consome mais, comparado com o alcance que o planeta tem em sustentar naturalmente essa mesma produção. Por conseguinte, a capacidade natural de renovação dos ecossistemas em relação à poluição humana, é igualmente desproporcional e insuficiente. Ou seja, a produção excessiva de gases de efeito de estufa produzidos pelo setor industrial e pelo setor habitacional, para dar resposta às necessidades humanas, ao longo dos últimos séculos XIX e XX, culminou no que hoje conhecemos como aceleração do processo natural do degelo e sobreaquecimento do planeta, por via artificial e declínio da camada do ozono em função dos gases poluentes, lançados para a atmosfera, criando do ponto de vista científico, religioso, social, económico e filosófico, consternações que levaram a problemáticas globais mundiais discutidas até então.

Desde então, líderes políticos e organizações governamentais e mundiais têm-se articulado, para resolver a problemática na iminência do crescente e potencial perigo se agravar. Com o pós-protocolo de Quioto, os governos mundiais, surgiram em implantar normas e regras que visam medidas para a redução de gases poluentes para a atmosfera, tal como é referido no capítulo 2 desta dissertação. Especificamente, no caso Europeu foram implementadas diretivas como a Energetic Performance Buildings Directive (EPBD), legislação que foi desenvolvida no sentido de definir um quadro comum, no que se refere à poupança energética

nos edifícios, pois estes são responsáveis por quase 40% do consumo de energia na EU. Da aplicação das diretivas europeias em Portugal, resultou na regulamentação nacional que conduziu à formação do sistema de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios, tal como o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e posteriormente e mais recente, o REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação), que vieram promover uma certificação energética dos edifícios e uma avaliação do desempenho higrotérmico e da sua qualidade do ar interior, de modo a identificar as medidas de melhoria que permitem aumentar o seu conforto e desempenho, assim como diminuir a probabilidade de ocorrência de patologias.

No decorrer desta dissertação, mais propriamente no capítulo 3, na análise do estado da arte, procura-se soluções sustentáveis baseadas em princípios ecológicos e eficazes para minimizar o consumo de recursos e reduzir as emissões de CO₂ nas novas construção e nas existentes sujeitas a intervenção, com respeito pelas questões ambientais, económicas e sociais da sociedade. No ressurgimento do conceito da origem da problemática da construção sustentável, surge a questão do antes e do depois, visto que, até aos meados do século XIX nenhuma destas demandas era eminente, num passado remoto em diferentes características das regiões e das culturas o ser humano conseguiu desenvolver formas de construção específicas para cada local, tendo sempre em conta como princípio fundamental, o clima. Na base deste conceito, hoje, surge a arquitetura bioclimática, onde se estudam as variáveis (climáticas) básicas subjacentes, como a radiação, a orientação solar e os ventos, analisa-se também as temperaturas (médias, máximas, mínimas e as suas amplitudes), a precipitação e a humidade relativa média mensal, transformando estes parâmetros em dados básicos para a caracterização de cada cidade e para requisitos necessários para o desenho das habitações, que consequentemente pode influenciar direta ou indiretamente o conforto Termo higrométrico no interior dos edifícios.

Ainda neste capítulo são apresentadas as bases para a arquitetura bioclimática, nomeadamente o projeto bioclimático que define as estratégias tal como a forma, a volumetria, a orientação, a exposição solar e a distribuição de espaços interiores e envolventes. É também estabelecido o conceito de arquitetura solar passiva com sistemas de captação solar para aquecimento natural dos edifícios, para suprimir a necessidade de inverno, bem como os sistemas de inércia térmica, que surgem como estabilizadores das temperaturas interiores, e o isolamento térmico apresentado como protetor das envolventes opacas contra os ganhos de calor excessivos durante os períodos mais quentes reciprocamente para os invernos, abordou-se a questão da fenestração que está na origem de perdas energéticas em até 35% das necessidades dos edifícios, igualmente a ventilação natural que é essencial para preservar a qualidade do ar interior, evitar problemas na saúde e patologias nos edifícios, por último o sombreamento para proteção solar que visa limitar a entrada excessiva de energia solar e reduzir ganhos de calor através das envolventes exteriores dos edifícios.

Destes três últimos parágrafos, pode então concluir-se que o futuro da construção, não está no homem que se afasta da natureza para ter conforto dentro da sua habitação, mas sim, daquele que se aproxima desta, para com ela levar a cabo uma compreensão total da mesma. Para tal, é necessário ter, uma interação racionalizada e cooperativa com o meio que nos rodeia. Será lógico dizer que a construção está na base da evolução da sociedade, e que essa evolução passou num passado remoto, pela compreensão do clima envolvente, para poder conceber ao máximo o conforto tão necessário a essa evolução. Se foi assim em passado distante para chegarmos até aqui, será lógico dizer que para continuarmos mais além temos de exatamente percorrer o mesmo caminho que os nossos antepassados fizeram.

Esta dissertação, compreende três casos de estudo muitos específicos, dos quais consta a análise do desempenho térmico higrométrico de um edifício de habitação coletiva existente em climas distintos, mais propriamente um Hotel, tomando como caso de estudo, a cidade de Coimbra, em Portugal e as cidades de Lubango e Luanda, em Angola. O trabalho centrou-se fundamentalmente no contributo das fachadas para o comportamento higrométrico dos edifícios, onde foram incluídos testes a diversas soluções construtivas propostas. Assim como, a análise da sua adequação e a eficácia nos vários cenários, com o emprego do regulamento Português (REH) para o caso de Coimbra, e a adaptação da metodologia de cálculo do mesmo, nos casos de Angola. As soluções construtivas da envolvente exterior escolhida para Coimbra, foram paredes exteriores do tipo P1, constituída por uma parede dupla de alvenaria com caixa de ar, isolamento térmico pelo interior e vãos envidraçados do tipo V3 constituído por vidro duplo reflexivo, com caixilharia de alumínio e corte térmico. Para Lubango, foram escolhidas paredes exteriores do tipo P3, constituída por uma parede com blocos de betão normal revestida com isolamento exterior da Weber, rebocada com argamassa tradicional por dentro e estucada, vãos envidraçados do tipo V2, constituídos por vidro duplo transparente com caixilharia de alumínio (sem corte térmico) termo lacado. Para Luanda, foram escolhidas paredes exteriores do tipo P2 constituído por bloco de betão normal revestido com reboco de argamassa tradicional pelo exterior, interior e estucada, vãos envidraçados do tipo V1 com vidro simples de 4 mm, transparente com caixilharia de alumínio (perfil simples) termo lacado.

Na análise do comportamento higrotérmico dos três conjuntos de soluções construtivas propostas inicialmente nos diferentes cenários climáticos, foi executada mediante a utilização da ferramenta de cálculo automático o CYPETERM, que exportou uma folha de cálculo baseada na metodologia de cálculo do atual regulamento de térmica Português, o Regulamento de Desempenho Energéticos dos Edifícios de Habitação. Por seu turno, utilizou-se sítios na internet, que proporcionaram muitos dos dados climáticos necessários que foram substituídos na folha de cálculo do programa, baseada no REH, a fim de se poder fazer análises do comportamento higrotérmico das soluções construtivas em Angola. Posteriormente, nos casos de estudo (Coimbra, Lubango e Luanda), foram implementadas

medidas de melhorias nas fachadas do edifício, onde foram tomadas alterações, que visassem uma elevada viabilidade, tanto económica, como energética das soluções construtivas adequada à região em questão. Portanto, soluções fáceis de implementar, simples e práticas, sem recurso a combustíveis fósseis, mais próximas de uma solução solar passiva ou bioclimática, nomeadamente a ventilação natural e os dispositivos de proteção solar, que melhoraram, em muito, as necessidades e os consumos de verão. Estas melhorias foram consideravelmente eficazes nas reduções das necessidades anuais de arrefecimento do edifício, parcialmente mais nos casos Angolanos, devido ao contexto climático subtropical em que se encontram ser de maior necessidade no verão, por causa da maior extensão desta estação do ano em relação ao caso de Portugal.

5.2 Conclusões dos resultados dos testes realizados antes e depois da intervenção.

No cenário de Coimbra com as soluções originais construtivas propostas pode concluir-se, que a tentativa de suprimir as necessidades para aquecimento no inverno, através do aquecimento solar passivo por ganhos solares, unicamente, seria insuficiente, visto que, a discrepância entre as perdas pela envolvente no inverno são claramente superiores aos ganhos solares brutos, sendo as perdas o dobro dos ganhos (52%). A maior debilidade deste cenário foi, o facto de o 4.º piso, estar em contacto com o 5.º piso (piso técnico), que suporta a cobertura, que por seu turno, é um espaço não útil, com uma envolvente exterior mais “débil”, composta na sua maior parte por vãos envidraçados, mais exposta e suscetível a intempérie, durante a estação de aquecimento. Alberga substancialmente ganhos solares excessivos na estação de aquecimento, provocando o sobreaquecimento do piso inferior, reciprocamente influência o piso inferior no inverno. Na globalidade, o contributo deste tipo de fachada vai conjeturar no edifício uma classificação energética média de B-, o que reflete algumas limitações da envolvente exterior e que proporciona debilidades no seu comportamento higrotérmico e reduz a sua eficiência energética. A proteção solar dos vãos envidraçados e a ventilação natural por condutas, melhorou em muito o comportamento higrotérmico do edifício, logo o contributo das fachas para a classificação energética do edifício foi de um B- para um A. Numa análise global dos resultados e do funcionamento energético final do edifício, facilmente se pode perceber que o emprego de sistemas solares passivos para arrefecimento, melhoram em muito, a qualidade do ambiente interior do edifício no verão. Por seu turno, otimizou os consumos energéticos levando a reduções substanciais nos consumos de energia nas necessidades de arrefecimento em 86%, o que num ano de consumos reflete poupanças substanciais. Contudo, pelo motivo de serem estratégias para arrefecimento, não melhorou a questão das necessidades nominais de energia para aquecimento, pode no entanto afirmar-se que a questão do vidro reflexivo neste tipo de clima é uma mais-valia pois otimiza em muito os ganhos pela envolvente envidraçada tanto no inverno como no verão.

No cenário de Lubango, com as soluções construtivas propostas pode-se concluir que, no inverno os ganhos solares brutos pela envolvente envidraçada são muito próximos das perdas pela envolvente exterior e por ventilação, ambos com valores elevados, o que implica uma envolvente exterior muito permissiva, pois concentra ganhos térmicos excessivos podendo tornar o ambiente interior desconfortável com o sobreaquecimento dos espaços interiores, simultaneamente, tem perdas térmicas excessivas, o que implica uma séria desvantagem na época correspondente ao período de inverno, em que as necessidades de aquecimento são maiores. Neste foram extrapolados os valores da relação entre necessidades nominais e o seu limite de energia útil, para arrefecimento no piso 1 e no piso 2, portanto pode-se concluir que das soluções construtivas, paredes ou vãos envidraçados a que não tinha uma resposta proporcional na redução de ganhos solares excessivos, era os vãos envidraçados, pelo facto de não os restringirem devidamente, daí foram implementadas as medidas de sombreamento nos mesmos, contudo constatou-se que neste cenário a utilização de vãos envidraçados de tipo V3 poderia ter sido mais eficaz devido às propriedades do vidro que levam a otimização dos ganhos solares. Graças às medidas de sombreamento lamelar nos vãos envidraçados e à ventilação natural, através, do efeito chaminé, vamos obter, para as necessidades anuais globais estimadas de energia primária, uma redução em 50% nos consumos energéticos, portanto, o contributo deste tipo de fachadas, faz uma redução na classe energética do Hotel de um B- para um A. Verificou-se que a implantação de dispositivos solares passivos para arrefecimento, melhora em muito o comportamento higrotérmico das fachadas logo do edifício e otimiza os consumos energéticos, levando a reduções substanciais nos consumos de energia nas necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento em 77%, tornando o edifício no geral, bastante económico. Pode se afirmar que neste contexto, o que influenciou mais estes resultados, substancialmente foram os sistemas de proteção solar em relação a ventilação, tal como aconteceu no caso de Coimbra, em climas temperados com alguma amplitude térmica entre os períodos noturnos e diurnos a ventilação natural por si só seria quase dispensável, devido a facto das perdas por ventilação no inverno.

No cenário de Luanda, com as soluções construtivas originais propostas pode-se concluir que, no inverno os ganhos solares brutos pela envolvente envidraçada e as perdas pela envolvente exterior, inclusive por ventilação, são ambos valores elevados, o que implica uma envolvente exterior muito permissiva e débil. Todas as frações vão exceder as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, sendo essa a sua maior debilidade, o que faz com que exista uma má qualidade no conforto interior devido ao sobreaquecimento dos espaços internos do edifício. Contudo, verificam-se necessidades nominais de energia para aquecimento relativamente baixas, devido ao encaixe climático, pois as temperaturas exteriores são bastante elevadas e sem grandes amplitudes térmicas entre os períodos noturnos e diurnos ao longo do ano, o proporciona em muito temperaturas interiores mais altas, logo espaços isentos de aquecimento. Com as dificuldades em suprimir as necessidades de arrefecimento, no que lhe concerne, como è usual neste tipo de casos pode haver uma tentativa de suprimir estas

necessidades, com meios mecânicos, o que leva a gastos excessivos de energia e elevadas emissões anuais de gases de efeito estufa para atmosfera. Com as propostas de melhoria através de sistemas de proteção solar lamelar e ventilação natural por efeito de chaminé, o contributo deste tipo de fachada melhorada, na redução das necessidades nominais de energia para arrefecimento, vai ser bastante considerável, poder-se-ia dizer que foi na qual houve melhor reposta as melhorias produzidas. Uma vez que, se conseguiu, inclusive reduzir as necessidades anuais globais estimadas em 65%, onde de uma classe energética C se passa abruptamente para uma classe energética A. Contudo continua a ser o sombreamento o mais eficaz por si só verso ventilação apesar de esta ser mais influente no 1º piso.

Em suma, depois das análises feitas as perguntas que se põem são:

Será suficiente a implantação de medidas climáticas solares para suprimir as necessidades de Inverno e Verão para este tipo de edifícios mais precisamente, Hotéis considerados edifícios de serviços que exigem uma simulação dinâmica pra melhor perceber o seu comportamento higrotérmico? Através deste trabalho, pode-se concluir que o contributo das fachadas com as respetivas propostas de melhoria, aplicado a um conceito menos holístico, utilizando unicamente a folha de cálculo do baseada no REH, reflete melhorias exímias nos consumos energéticos deste tipo de edifícios. A segunda pergunta que se põem é:

Existe algum tipo de viabilidade em adaptar o REH em climas subtropicais? O regulamento Português, atual é sem sombra de duvidas uma base documental prática eminente por excelência, não só por derivar de um RCCTE bem elaborado mas porque, é também baseado em formulações com parâmetros climáticos muito óbvios de se registrarem e poderem obter em qualquer lugar no Mundo.

5.3 Perspetivas de desenvolvimento

Este trabalho surge, por um lado, como possível documentação técnica sobre a interação dos edifícios correntes em Angola, com os seus respetivos climas subtropicais, inclusive, em Coimbra no que se refere ao hemisfério norte em climas temperados. Por outro lado, comporta uma pesquisa bibliográfica fundamentada, com testes em casos de estudo baseados no clima, feitos de uma forma bastante pratica e arrojada, o que de alguma forma, poderá contribuir para futuros estudos em ações de melhoria do conforto interior térmico nos edifícios existentes em Portugal e em Angola. Apesar de não ser um trabalho que tem suficiente abrangência para num futuro próximo, poder servir de base para um regulamento de térmica em Angola através do regulamento Português, de uma forma linear tem referências que podem de alguma maneira possibilitar a análise e ajudar nestas questões.

BIBLIOGRAFIA

- ADENE. (2017). «Perguntas e Respostas | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios». Acedido Janeiro 10. <http://www.adene.pt/sce/micro/faqs/sce>.
- Aja, H. A. (coord.), Tojo J. F., Huerta G., Ángel M., Áñez V. F., Gonçalves, A. C. (Ed) Ribeiro, e Manuel (Ed) Feliciano. (2013). *Manual de desenho bioclimático urbano. Manual de orientações para a elaboração de normas urbanísticas*. Instituto Politécnico de Bragança. <http://hdl.handle.net/10198/10753>.
- AM Online Projects - Climate-Data.org. Acedido Fevereiro 11, 2016. 2016. «Dados climáticos para cidades mundiais - Climate-Data.org». Acedido Fevereiro 11. <https://pt.climate-data.org/>.
- Lanham, A. Pedro Gama, e Renato Braz. (2004). «Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro». *IST - Universidade de Lisboa*, 66.
- Ramos, A.T. (2002). «Análise Do R.c.c.t.e Face À Utilização De Sistemas Solares Passivos Em Edifícios De Habitação». DEC-FCTUC.
- AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. 2016. «Desempenho Energético dos Edifícios». <http://aream.pt/files/2016/05/brochuraedificios.pdf>.
- Kamweneshe, B. M., e et al. (2006). «Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola – MINUA 2006». *Governo de Angola - Ministério do Urbanismo e Ambiente*.
- BizEE Degree Days. (2016). Acedido Março 2. <http://www.degree-days.net/>.
- CYPE Ingenieros, S.A. sem data. *CYPE 2016*. Top - Informática, Lda. <http://www.topinformatica.pt/>.
- Diário da República. 2013. *Decreto-Lei n.º 118/2013. N.º 159*. Vol. N.º 159 — 20 de agosto de 2013. <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2013/08/15900/0498805005.pdf>.
- Fernandes, J. E. P, Mateus R., e L. Bragança. (2016). «Arquitetura vernácula portuguesa: lições de sustentabilidade para a arquitetura contemporânea». Em *1.º Colóquio Internacional Arquitectura Popular - Conceitos e expressões. Valores culturais, sociais e económicos*, 773–89. Município de Arcos de Valdevez. <http://hdl.handle.net/1822/43322>.
- Ferreira, S. F., e ADENE (2016). «Impacte da nova regulamentação na certificação energética de edifícios». <http://sapiencia.ualg.pt/handle/10400.1/8448>.
- Esteves. F. M. G. F. (2009). «Construção em climas tropicais: comportamento térmico de edifícios em Luanda». Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em construções civis, FEUP: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/58288>.
- Moita, F. (2010). *Energia Solar Passiva*. 2ª. Lisboa: Argumentum.
- Gonçalves, H., e Graça J. M. (2004). *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. DGGE/IP-3E. <http://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1ticos.pdf>.

- Gonçalves, J. C. S., e Duarte D. H. S. (2006). «Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino». *Ambiente construído* 6 (4): 51–81.
- Google+. (2016). «Latitude and Longitude Finder on Map Get Coordinates». Acedido Julho 9. <http://www.latlong.net/>.
- google.pt. (2015). «Lubango». *Lubango*. Acedido Novembro 23. <https://www.google.pt/maps/place/Lubango,+Angola/@-14.9106226,13.45846,18777m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x1ba34b79115f7f23:0xc aa20e87e439fb10!8m2!3d-14.9186136!4d13.5321234>.
- Gourgel, M. A. P., e et al. (2012). «A importância da arquitetura sustentável nos países de clima tropical: análise de casos na cidade de Luanda». Lisboa: UTL. Instituto Superior Técnico. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144037351/Tese_Mario_Gourgel.pdf
- Lima, I. S. P., e et al. xxxx. «Insolação em Edificações». *7º Simpósio de Ensino de Graduação*, 6.
- ITeCons, (2013). *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*. <http://www.reh.pt/>.
- ITeCons. web Site. Acedido Dezembro 10, 2015. «Certificação Energética». Acedido Dezembro 10. <http://www.itecons.uc.pt/index.php?module=inst&id=7>.
- Silva, J. A. R. M. (2009). «Arquitetura de Cabo Verde um Contributo para uma Construção Sustentável». DEC-FCTUC.
- Magalhães, A. (2016). «Migrações do moderno: arquitetura em angola e moçambique (1948-1975)». *estudoprévio*, 17.
- Guedes, M. C. (2011). «Arquitectura sustentável em Moçambique: Manual de boas práticas». *CPLP • Comunidade dos Países de Língua Portuguesa*.
- Pinheiro, M. D. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto do Ambiente. Lisboa. http://www.lidera.info/resources/ACS_Manuel_Pinheiro.pdf.
- Pitra, M. G. C. (2016). «Energias Renováveis Em Angola: Situação Actual e Perspectivas». Acedido Julho 20. http://www.relop.org/eventos/Documents/V_Conferencia/Maria%20Graciette%20Pitra_MINEA_01062012.pdf.
- NASA, (2015). «NASA Surface meteorology and Solar Energy: Daily Averaged Data». Acedido Dezembro 6. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/daily.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>.
- Palhinha, M. S. D. J. (2009). «Sistemas de Sombreamento em Arquitectura: proposta de um novo método de concepção e dimensionamento». *Instituto Superior Técnico-Universidade Técnica de Lisboa*, 175.
- Fragoso, R. (2013). «O novo enquadramento legal do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)». ADENE, Miraflores. http://www.adene.pt/sites/default/files/131216sce_rfragoso.pdf.
- Niza, S. e Almeida, M. (2016). «nZEB - nearly Zero - Energy Buildings». Universidade da Beira Interior. <https://www.ubi.pt/Ficheiros/Eventos/2016/1/6279/SZEB.pdf>.
- Silva, J. A. R., e Ramos A.T. (2003). «The applicability of passive solar solutions to portuguese traditional buildings». Em *XXXI IAHS World Congress on Housing*. International Association for Housing Science. <https://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/114>.

- TripAdvisor, (2015). «Hotel Lubango». Acedido Novembro 10.
https://www.tripadvisor.com.br/Hotel_Review-g670166-d2083162-Reviews-Hotel_Lubango-Lubango_Huila_Province.html.
- UCLA - Energy Design Tool. 2014. *Climate Consultant 6.0*.
- wikiarquitectura, (2015). «Unite d'habitation de Marselha».
https://pt.wikiarquitectura.com/index.php/Unite_d%C2%B4habitation_de_Marselha.
- Wikipédia, a enciclopédia livre, (2016). «Classificação climática de Köppen-Geiger».
Wikipédia, a enciclopédia livre.
https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Classifica%C3%A7%C3%A3o_clim%C3%A1tica_de_K%C3%B6ppen-Geiger&oldid=47641315.