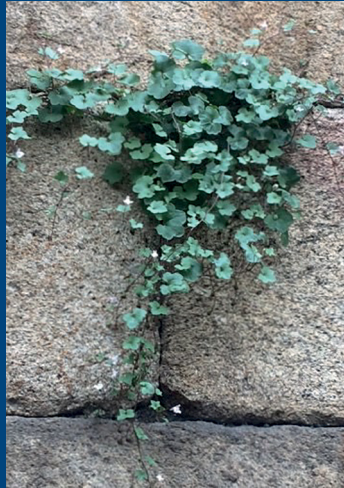




Fundação
**Mestre
Casais**

Eduardo de Oliveira Fernandes
Hugo Santos



Edifícios de Elevado Perfil Ambiental em Portugal

Ensaio para a
Sustentabilidade



UMinho Editora

Um edifício de valor intemporal é de dois mundos: lança raízes no mundo da matéria, que é lugar, programa, materiais, ambiente e energia, e floresce no mundo do espírito, que é vida, imaginação, génio e solidariedade 'at large'.

Eduardo de Oliveira Fernandes



UMinho Editora



Fundação
**Mestre
Casais**

AUTORES

Eduardo de Oliveira Fernandes
Hugo Santos

COORDENAÇÃO EDITORIAL
Manuela Martins

COORDENAÇÃO DA COLEÇÃO DE ENSAIOS PARA A SUSTENTABILIDADE
José Gomes Mendes

FOTO CAPA
Eduardo de Oliveira Fernandes

DESIGN e PAGINAÇÃO
Tiago Rodrigues

IMPRESSÃO e ACABAMENTOS
Gráfica Diário do Minho

EDIÇÃO UMinho Editora

LOCAL DE EDIÇÃO Braga 2022

DEPÓSITO LEGAL N° 502716/22

ISBN 978-989-8974-70-9

ISBN DIGITAL 978-989-8974-71-6

DOI <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.69>

Os conteúdos apresentados (textos e imagens) são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores.
© Autores / Universidade do Minho – Esta obra encontra-se sob a Licença Internacional Creative Commons:
Atribuição 4.0.

Edifícios de Elevado Perfil Ambiental em Portugal

Eduardo de Oliveira Fernandes
Professor Emérito Universidade do Porto
Fellow ASHRAE (Associação Americana de Ar Condicionado)

Hugo Santos
PhD Universidade do Porto

	Conceito	9
	Motivação	13
1.	Introdução	21
1.1.	Edifício de Elevado Perfil Ambiental	24
1.2.	Porquê explicitar 'Em Portugal'?	26
1.3.	Um Novo Conceito de Habitação para o Futuro	27
1.4.	A Regulamentação Térmica e Ambiental como Quadro Base	33
2.	Energia nos Edifícios. Conceitos	37
2.1.	A Energia	38
2.2.	Conceito de 'Sistema'	45
2.3.	Escalas de Impacto Energético-Ambiental	47
2.3.1.	Ambiente Global	49
2.3.2.	Ambiente Local	54
2.3.3.	Ambiente Interior	56
2.4.	Corruptelas sobre a Energia nas Mensagens Oficiais e Oficiosas	57
2.5.	Suficiência e Eficiência Energéticas e Energias Renováveis	62
2.5.1.	O Edifício como Sistema Energético	62
2.5.2.	Suficiência e Eficiência Energéticas nos Edifícios	63
2.5.3.	Energias Renováveis em Edifícios Residenciais	67
2.6.	Conforto e Salubridade dos Espaços Interiores	71
2.7.	Conforto Térmico Adaptativo	74
2.8.	Qualidade do Ar Interior (QAI)	77
2.8.1.	Abordagens à QAI	78
2.8.2.	Suficiência na Ventilação	80
2.8.3.	Suficiência na Ventilação. Caso do Ar Condicionado	87
3.	Os Edifícios no Sistema Energético Nacional	89

3.1.	Breve Contexto Histórico Sobre o Conforto nos Edifícios residenciais em Portugal	93
3.2.	Desempenho Energético do Parque Edificado	101
4.	Construir com o Clima e com o Lugar	105
4.1.	Valores históricos de temperatura e humidade	105
4.2.	Valorização do Conforto Adaptativo	109
4.3.	Solo, Orografia e Implantação do Edifício	111
4.4.	Organização dos Espaços	114
4.5.	Acessibilidade e Proximidade a Serviços	116
5.	Física Térmica dos Edifícios	119
5.1.	Isolamento Térmico	121
5.1.1.	Soluções de Continuidade	127
5.1.2.	Isolamento de Fundações e Espaços Enterrados	128
5.2.	Captação Solar e Sombreamento	132
5.2.1.	Iluminação	132
5.2.2.	Fenestração	135
5.2.3.	Sombreamento	138
5.3.	Capacidade de Armazenamento Térmico	141
6.	Qualidade do Ambiente Interior	145
6.1.	Controlo de Fontes Poluentes Interiores	145
6.2.	Ventilação e Estanqueidade do Edifício	147
6.2.1.	Implementação para uma ventilação suficiente	149
7.	Sistemas Técnicos de Apoio	153
7.1.	Utilização de Água	153
7.2.	Sistemas de Aquecimento	157
7.3.	Sistemas de Controlo e Operação do Edifício	160
7.4.	Fontes Renováveis de Energia	165
8.	Impacto Ambiental	169

8.1.	Vetores Energéticos	169
8.2.	Água	170
8.3.	Materiais	172
9.	Implementação em Projeto	175
9.1.	<i>Checklist para um Edifício de Elevado Perfil Ambiental</i>	177
9.2.	Estimativa de Desempenho e Ferramentas de Apoio ao Projeto	183
10.	Valores E^2PA e Harmonização com Sistemas de Avaliação	185
10.1.	Integração com Discurso Comercial	187
11.	Referências e Documentação	189

Conceito

'Edifício de elevado perfil ambiental' (E²PA) significa edifício com uma expressão atual integrando os avanços do conhecimento nas diversas vertentes da sua relação com o ambiente global, regional e local em termos holísticos, i.e., que atenda, pela ordem, ao conjunto dos valores paisagísticos, arquitetônicos, físicos, ambientais e da saúde. Um edifício que, pelo seu projeto, implantação,

construção e uso, atentos os valores acima referidos, contribua, direta ou indiretamente, para o objetivo da redução da procura da energia, nomeadamente, de formas de energia poluente, valorizando a prioridade à conformidade com o clima, ou seja, tendo em vista a sustentabilidade ambiental e, desde logo, a suficiência dos recursos naturais vitais como a água e a energia limpa.

Um edifício em dado local deve assegurar as suas funcionalidades sem pôr em causa a qualidade/sensibilidade da sua integração no espaço/território que o acolhe. Para tanto, há que dar prioridade de atenção, numa visão ambiental ampla, à não implantação de putativas fontes de poluição do ar e da água do local ao mesmo tempo que se valoriza o aproveitamento da trajetória do Sol e avalia com especial cuidado a existência na proximidade de fontes de poluição química (gases e partículas) ou física (ruído) associadas a intensas vias de circulação, campos de produtos hortícolas ou parques de equipamentos industriais ou outras potenciais fontes de poluição atmosférica (odores, gases, partículas...).

Por outro lado, há que confrontar a expectativa do volume do seu edifício e da sua orientação em relação ao Sol bem como aos ventos dominantes e verificar qual a localização e a orientação das aberturas, úteis e sábias na perspetiva do conforto e da saúde como se lhes referirá mais adiante.

Assim, uma vez acompanhado o imperioso aproveitamento da geometria solar – o qual deveria estar sempre presente no desenho urbano para captar a radiação solar pelas aberturas envidraçadas, sempre que tal for útil e, por outro lado, gerido o sombreamento adequado, isto é, de preferência pelo exterior dos envidraçados – é de sublinhar que, tendo em conta as condições do local e as necessidades de conforto térmico no interior, importa garantir, definitiva e imperativamente, o isolamento térmico do edifício ‘vestindo-o’ pelo exterior sem quaisquer soluções de continuidade no que respeita às paredes e, deste modo, conferindo também às paredes exteriores, uma vez que termicamente isoladas pelo exterior, uma função essencial de armazenamento do calor recebido no interior durante o dia através das aberturas envidraçadas conduzindo ao amortecimento das oscilações da temperatura do ambiente interior associadas à alternância dia/noite mesmo sem ativar o eventual equipamento adicional de aquecimento.

Importa, pois, salvaguardar as condições ‘sine quibus non’ para que o edifício contribua, na sua justa medida e para além da sua função específica, também para o respeito da paisagem e dos valores locais, ambientais e culturais, bem como para o clima no seu sentido mais amplo. Isto é, o edifício deverá ser assim um reflexo e um fator da qualidade do ambiente em si mesmo: do ambiente interior, enquanto primeira finalidade, desde a segurança à qualidade de vida são mas também do ambiente exterior, enquanto utilizador dos valores

ambientais locais e contributo para a qualidade da paisagem e do ambiente exterior, 'at large'. E, assim, globalmente, poderão ser satisfeitos ainda os imperativos éticos, sociais e económicos associados à redução do uso de energia comercial, atenuando os inevitáveis efeitos perniciosos, nomeadamente, de poluição do ar e do ambiente em geral.

Tratar-se-á aqui de uma exigência de urbanismo, de arquitetura e de construção conduzindo a um edifício que, para além de assegurar as amenidades e salvaguardar as condições de segurança física, de saúde e de conforto, segundo o estado da arte, explore desde logo e sempre, um potencial energético-ambiental do próprio 'edifício' ou 'objeto construído', enquanto tal. A agressividade ambiental do 'objeto construído' deverá, assim, ser refreada sob o imperativo da suficiência energética e com recurso às tecnologias energéticas mais eficientes e mais adequadas às funções do ambiente interior, quer em termos dos valores da temperatura e da humidade relativa do ar como das próprias superfícies das paredes interiores, quer do ruído exterior, quer da incidência, ainda que regulável, dos raios solares, em particular no tempo quente.

Nunca será demais sublinhar a importância de se assegurar um ambiente interior térmico saudável que resulte da conjugação das condições de temperatura do ar, 'quente' ou 'fresca', e das trocas diretas de luz e de calor pelos envidraçados, bem assim como dos relevantes ganhos solares sem descurar um nível adequado da ocupação humana e da eventual ação moderadora e supletiva de equipamentos ditos de 'climatização' os quais devem ser usados com parcimónia não de avareza, mas de consciência. De notar que o que se sublinha nas linhas acima é uma mensagem de convicção de que em Portugal, e não só, se usa muito mal (e muito!) o ar condicionado e tal representa prejuízos significativos para o país, em termos económicos, propriamente ditos, mas também em termos de saúde.

Acresce, em termos da qualidade físico-química do ar, que este deva ser livre de fumos de tabaco ou da cozinha e de qualquer contaminação química interior de chama aberta ou exterior de fumos, estes devidos ao tráfego, à indústria ou a explorações agrícolas de proximidade, circunstâncias estas ainda frequentemente desvalorizadas, por ignorância ou desleixo, apesar dos efeitos nefastos dos poluentes tais como inseticidas agrícolas transportados pelas correntes atmosféricas na proximidade de núcleos industriais ou de produção agrícola intensiva ou de parqueamento urbano ou industrial.

Estudos aprofundados levados a cabo por equipas mistas (Engenharia e Medicina) da Universidade do Porto nas últimas décadas puseram a claro a necessidade de uma melhor construção e de uma melhor educação/preparação dos utentes

no que concerne à garantia de um ambiente interior favorável à saúde, tema que não tem sido cabalmente assumido pela indústria nem pelo Estado. Não consta que tal haja sensibilizado no terreno a arquitetura e muito menos a indústria da construção, esta com a sua consciência desobrigada de quaisquer responsabilidades com a instalação do ar condicionado sem respeito pela ética nem pela saúde.

A adequação aos parâmetros ambientais críticos no interior e à gestão e controlo dos equipamentos de climatização/aquecimento e ao conforto no habitáculo será assegurada uma vez que hajam sido definidas e garantidas as soluções para que se obtenham níveis de conforto necessário aos utilizadores. Isto, salvaguardando sempre a possibilidade da desativação ou atenuação da potência de alguns ou de todos os equipamentos da sua específica função/ação de correção ambiental do ambiente interior, conforme os dias ou sequências de dias, de acordo com a estação do ano e o conseqüente tipo de vestuário, ainda que se dê atenção à percepção e à vontade esclarecida dos utentes. Potenciar-se-á, assim, o contributo do edificado para a limitação do uso da energia¹ dita 'comercial' que assim poderá vir a ser dispensável. Energia essa que se deverá procurar seja, quanto possível, de origem natural e amiga do ambiente e que deverá ser reduzida sempre que tenha uma origem ou 'currículo de conversão' com efeitos poluentes.

1 Apesar de o conceito de energia lhe ser colateral e não integrar, propriamente, o conceito de edifício de elevado perfil ambiental, importa deixar claro que nenhuma energia é 'produzida', como correntemente se diz de forma ignara e petulante. A energia é, ou seja, a energia existe e não se produz. O que o homem pode fazer é, tão só, converter uma dada forma de energia tal como eletricidade, calor, etc., noutra forma de energia que se pretenda por conveniência de utilização, a saber, aquecimento, iluminação, transporte, cozedura de alimentos ou de promoção de atividades, as mais diversas.

A partir do que fica dito é proveitoso que toda(s) a(s) comunidade(s), nacionais, urbanas, rurais ou familiares, entendam não ser admissível, posto que nem é correto na perspectiva científico-técnica nem é útil ao conhecimento e à interação inteligente entre os mais diversos atores sociais, o designar qualquer daquelas 'formas de energia' ou outras tomadas isoladamente, por 'a' energia, como infelizmente se vê em tantos órgãos de comunicação social.

Importa que resulte claro, de que é errado e, por isso, pouco adequado, por ser por demais redutor, chamar à eletricidade 'a energia' como fazem correntemente, mesmo ao nível dos mais altos responsáveis, os profissionais da eletricidade e da comunicação social ou ainda, simplesmente, a 'luz', como usa muito em particular a comunicação social cuja missão deveria ser também ajudar a formar pela informação. Isto, apesar de sucessivos apelos diretos ao rigor mesmo junto de responsáveis de autoridades empresariais e jornais ditos de referência. Ora tal é negativo em termos culturais mas, também, para a própria gestão da energia já que a falta de rigor na linguagem comporta dificuldades de comunicação com efeitos ambientais e económicos.

Motivação

A problemática da construção de edifícios com raízes milenares ligadas à função-abrigo, tendo em atenção o lugar e o clima, está hoje por demais conceptualizada e estruturada metodologicamente, apoiada em algoritmos e instrumentos de 'software', 'estandardizada' e 'regulamentada' sob um amplo leque de perspectivas e de parâmetros a vários níveis.

Não se pretendendo aqui ser exaustivo, consideremos os domínios mais relevantes próprios das especialidades profissionais intervenientes na construção do edificado, nomeadamente:

- i. no paisagismo, urbanismo e arquitetura, que envolvem o arranjo dos espaços exteriores e interiores, pondo em evidência a função específica única ou múltipla da energia e a sua relação biunívoca com o ambiente exterior, nomeadamente, com o ambiente local, o Sol, o vento, a chuva, o ruído, a acessibilidade e a mobilidade, entre outros aspetos; com os espaços e valores patrimoniais e naturais de proximidade local ou regional, isto é, da sustentabilidade 'at large'; e com a dimensão da qualidade e habitabilidade do ambiente interior;*
- ii. nas atividades específicas das engenharias (civil, eletrotécnica, mecânica/térmica, química, etc., entre outras), nas respetivas vertentes de especialidade, hoje, seguramente, com requisitos e relevâncias muito diferentes das do passado recente em Portugal e cada vez mais diferenciadas entre si e, por isso, mais necessitadas de uma abordagem holística, isto é integradora;*
- iii. na informação, na decoração e no mobiliário, na consciência coletiva, etc., tendo tudo em conta a convergência para objetivos como segurança, privacidade, saúde, conforto, economia, sustentabilidade e bem-estar.*

Num tal quadro, por demais abrangente, quer em termos dos objetivos e das funções, quer do complexo de interesses e de atores, entre outros, pretende-se com este vade-mécum oferecer uma perspetiva holística, atual e de futuro, na interseção do bem-estar dos utentes e do progresso e expansão da 'tecnologia' com, sem dúvida, o valor mais crítico do tempo presente, que é o da sustentabilidade ambiental no seu sentido mais nobre e amplo de sustentabilidade global, face às alterações climáticas induzidas pelas emissões de gases causadores do efeito de estufa, estas, em grande medida, devidas ao uso de recursos energéticos primários de origem fóssil, nomeadamente, o carvão, o petróleo e o gás natural, com acelerada expansão dos seus usos nos últimos decénios.

Entretanto, nunca é demais sublinhar que podemos identificar na Natureza duas 'categorias' de fontes de energia, chamemos-lhes assim: uma, relativa à energia que nos chega do espaço, isto é, a radiação solar direta do Sol com toda uma rede de emissões e absorções de radiação no cenário físico multifacetado do enquadramento de cada lugar e, outra, o vento, induzido pelo efeito

daquela, isto é, do (calor do) Sol quando diretamente conjugado com o efeito da diversidade e complexidade geográfica, desde logo em mares, solos e paisagem. Ambas aquelas energias são limpas, no sentido do 'ambiente' local ou regional, a primeira sob a forma física de radiação solar e a segunda, pela dinâmica do ar em movimento (vento) com origem em fenómenos geográficos gerados por diferenças de temperatura entre zonas continentais conjugadas com efeitos de evaporação da água dos oceanos.

Quanto aos impactos no clima ou climas do Planeta das dinâmicas evocadas acima, aqueles não dependem apenas da quantidade de energia efetivamente manipulada já que esta é muito menor do que a que poderia ser procurada no Planeta, seja a designada energia fóssil, seja ainda a do ambiente, através das energias renováveis. Por sua vez, atenta a variedade de fontes de energia, a par das diversas formas de energia e de meios ou processos de as utilizar e, decididamente, da sua qualidade, a energia interpela a vida, o urbanismo, a arquitetura e a construção, ontem como hoje, ainda que hoje com alguns dos objetivos a terem valorizações novas com a 'surpresa' do impacto de toda a ação local no que respeita ao seu reflexo no clima global.

E, assim, a energia emerge hoje como um parâmetro decisivo dada a extensão do seu percurso tecnológico a partir da sua fonte natural (recurso energético) à utilização de proximidade (energia final) em que estão envolvidos processos, nomeadamente o da combustão, esta na origem do gigantesco 'feedback' ambiental negativo à escala do Planeta que importa conter, desde logo, atenta a forte urbanização dos últimos decénios.

Ora, sendo o 'construído' um universo de oportunidades e de motivações bem como de soluções de interação com o ambiente, diretamente e através da energia, coloca-se o desafio do regresso aos edifícios pela positiva, isto é, tomando-os, a eles próprios, como 'atores' ou 'protagonistas' centrais da qualidade de vida, agora e aqui e, isto enquanto sistemas energéticos, eles mesmos, a um tempo 'centrais' e de oportunidade crítica, no que importa aos cidadãos, com um promissor potencial de protagonismo em múltiplas e diversificadas oportunidades de iniciativas de intervenção 'bottom up', como ilustram com eloquência a captação e a gestão das energias naturais, isto é, da radiação solar, da temperatura do ar e da própria circulação atmosférica em torno dos edifícios, nos espaços urbanos e no campo.

E é, então, que qualquer edifício encarado especificamente como sistema de energia renovável a que crescem outros sistemas 'add on', consistentemente, com a exigência de um desempenho de excelência, é aqui designado de 'EDIFÍCIO DE ELEVADO PERFIL AMBIENTAL' ou seja aquele que, rigorosamente,

encaixa nas perspetivas local e global, a par das técnicas da boa prática profissional, desde as vertentes urbanística e paisagística ao recurso a conhecimentos mais avançados nos domínios da saúde ambiental e da física da energia nos edifícios. Para atingir um desiderato tão exigente impõe-se ir mais além no projeto urbanístico, antecipando pela modelização o desempenho energético como fator ambiental determinante para a salvaguarda do conforto no interior dos edifícios e do ambiente exterior enquanto se adequam as demais utilizações dos recursos disponíveis, energéticos e ambientais, em geral.

É assumido como já acima se diz, que não se pretende ser exaustivo nos diversos domínios próprios das especialidades profissionais intervenientes na construção do edificado mas, para dar continuação às preocupações expressas, nomeadamente, nas vertentes identificadas a seguir, tidas como mais relevantes para o respeito da singularidade do território e de cada lugar e, quando e quanto possível, valorizar as condições geográficas, orográficas e históricas e identificar as abordagens paisagistas, climáticas e de saúde das gerações de hoje e futuras, isto é, da sustentabilidade, desdobramos a lista antes iniciada, a saber:

- i. Paisagismo e urbanismo, atentos os espaços e valores patrimoniais e naturais de proximidade local e regional, isto é, da qualidade urbana, mas, sobretudo e, mais profundamente, da sustentabilidade do território envolvente, isto sem descurar, eventualmente, a correção de erros cometidos aqui e ali por falta de conhecimento da parte de poderes pouco esclarecidos.*
- ii. Arquitetura e paisagem de proximidade, incluindo a valorização do enquadramento urbano bem como o irrecusável aproveitamento da trajetória do Sol, ao mesmo tempo que cuidando da proteção dos ventos e da chuva e, desde logo, a atenção à proteção do ruído ou de fumos como à acessibilidade visual, entre outros. Muito relevante é, ainda, entre nós, a abordagem da problemática do arranjo dos espaços interiores nas suas funções específicas, únicas ou múltiplas, atentas a saúde e o conforto pela via do calor e do ar permutados com o exterior e atendendo, nomeadamente, à localização e à área da fenestração e, também, à variabilidade da densidade da ocupação nos espaços interiores. De referir que em Portugal se nota uma certa tendência de generosidade por parte da arquitetura na dimensão da fenestração orientada a Sul ou a Este sem adequada proteção exterior – dir-se-ia, com alguma ‘ironia’, por ‘respeito’ ao impacto do Sol. Claro que a presença do Sol é saudável e benquista, mas poderá ser igualmente nefasta no sobreaquecimento do ambiente interior solicitando o que*

em Portugal poderia e, por princípio,, deverá ser desnecessário, e que é a que quase se poderia designar de famigerada 'climatização mecânica' ou 'ar condicionado' em Portugal, já que o nosso clima, felizmente, não nos 'presenteia' com a simultaneidade de elevado calor e de elevada humidade relativa do ar, salvo quando em espaços fechados com muitos ocupantes. Ora, se esse ar condicionado puder ser evitado, de dia como de noite, não é ético nem saudável nem meritório da cidadania usar potências excessivas de sistemas de ar condicionado quando não se tomaram as precauções devidas em devido tempo, isto é, quando se escolhe o local atenta a implantação da casa tendo já os valores referidos acima. A climatização é, naturalmente, uma boa tecnologia, mas, como ocorre com a alimentação e a medicação, só na devida e justa medida. Ora, em Portugal, é um facto que um certo novo riquismo de país pequeno em muitas dimensões tem levado a um excesso de 'corrida atrás da climatização' quando a conjugação dos dois parâmetros que a justificam tecnicamente, isto é, temperatura e humidade relativa, só por incúria ou por rara exceção resulta imperativo em espaços fechados em Portugal.

- iii. Engenharias, civil, eletrotécnica e mecânica (térmica), entre outras, nas respetivas vertentes de cada especialidade, hoje, seguramente com especificidades e relevâncias muito diferentes das do passado e, cada vez mais, diferenciadas entre si. Em todo o caso, é mister que haja uma articulação entre os diversos objetivos e funções que caibam a cada uma das especialidades, seguindo uma sequência coerente que venha conduzir a que o uso do edifício possa aproveitar o contributo das intervenções em i) e ii) admitindo aqui um efeito de 'ricochete' num diálogo que garanta a otimização da qualidade do ambiente interior, valorizando as referidas intervenções mas também oferecendo 'feedbacks' atempados quanto ao ambiente interior e o seu impacto na saúde. Perdoar-se-á, entretanto, aos autores, por amável deferência do mais jovem – não que esteja em desacordo, mas por sobriedade profissional, estou certo – que se deixe aqui um alerta ético. A ética é uma companheira pouco amada mas, como é que poderemos seguir o que vimos a dizer até aqui se não nos sentirmos reféns da verdade, da ética e da comunhão com todos, quer com quem nos lê, como com quem é vítima do seu não conhecimento quando há expressões de 'conhecimento' reivindicado como profissional mas sem moral?*
- iv. Aproveitamento da luz do Sol bem como dos raios que embatam de preferência em paredes interiores nuas, recetivas à sua captação,*

principalmente pela penetração da radiação solar no interior, sendo que todas as superfícies interiores das paredes deverão ter um papel de primeira importância na manutenção de uma continuada temperatura moderada - fresca no Verão e morna no Inverno - uma vez que as paredes exteriores sejam forradas por isolamento térmico aplicado pelo exterior. Este é que deveria ser o caminho único para um Portugal de consciência profissional, política e ética, 'at large'. Tal é uma medida singular para assegurar ambientes interiores confortáveis no Verão e também na estação fria. Tendo o edifício isolado termicamente pelo exterior - como deveriam sempre ser tendencialmente todos - tudo o que está no ambiente interior é 'massa térmica', moderada em temperatura para o benefício da gestão do conforto no interior.

- v. *Papel dos comandos, decoração, mobiliário, etc., tendo em conta a convergência da energia 'limpa' aqui identificada para atender a objetivos como segurança, privacidade, conforto, economia, sustentabilidade e bem-estar, at 'large' e, claro, a saúde. O sublinhado da saúde é relevante, não apenas pelas experiências recentes da 'pandemia' mas pelo quanto se sabe que têm sido muito pouco valorizados em Portugal os efeitos para a saúde de certos solos (como os que têm radão) mas também da humidade e dos fumos para além de outras fontes de poluentes fruto da industrialização e comercialização tecnológicas cuja caracterização tem vindo a ser objeto de intensa investigação coordenada pela Comissão Europeia envolvendo grupos universitários da CE, entre os quais da Universidade do Porto e cujos resultados estão ainda em processo de incorporação em termos de definição e regulamentação das grandezas físico-químicas a respeitar, mas que, em todo o caso, não deixam, por isso, de sugerir a necessidade de uma abordagem prudente e respeitosa perante as novidades de substâncias poluentes de que também a OCDE se vem ocupando ao longo dos últimos 50 anos.*

Nos capítulos que se seguem procuram-se ilustrar alguns pontos incontornáveis para obter um edifício de elevado perfil ambiental em Portugal, suscitados na oportunidade e com as valias próprias para que se alcance, conforme o caso, um projeto de urbanização, de edifício ou de unidade de habitação ambientalmente sustentável, isto é, responsável, o que significa que, cada unidade construída, habitacional, comercial, institucional ou outra, pela exacerbação da sua suficiência energética acompanhada pelo 'recrutamento' para o seu desempenho de tão pouca energia quanto possível proveniente da(s) rede(s) convencional(is), levará a que a própria energia importada por cada edifício não agrave no seu todo ou, seguramente, numa significativa parte, as emissões de CO₂. E, assim, poderá, de

forma relevante, contribuir para aliviar a papel do parque construído nas alterações climáticas.

A tarefa não é de todo ciclópica e impossível, mas seguramente muito carente de cultura no campo da energia, eliminando-se o uso de linguagens falsas como, por exemplo, o dizer-se 'que se produz energia' ou o chamar à energia 'a luz'; com artigo definido, como já explicado no preâmbulo conceitual deste livro. Com efeito, a energia não se produz. A energia é um parâmetro multifacetado do presente com expressão por todo o Mundo. A inteligência do homem foi superando ao longo do tempo as barreiras do conhecimento para tornar úteis as oportunidades de criar formas de energia acessíveis. Assim surgiu o 'fogo' domesticado e muitas outras formas de energia usável como o vento na navegação ou no trazer do subsolo à superfície a água da rega por moinhos muito simples como na Ilha de Creta (Grécia). Moinhos que ainda hoje trabalham bnas perspetivas educacional, cultural, natural e, no seu todo, ambiental e para rega, saudavelmente. Talvez não tecnologicamente ou comercialmente para o Mundo de hoje mas, de qualquer modo, numa plataforma de conhecimento que é, também, de responsabilidade e de felicidade para as populações autóctones.

Em suma, a motivação para este livro pode, pois, sintetizar-se

- i. na identificação da motivação pessoal do autor sénior para a promoção dos valores energéticos amigos do ambiente indo ao encontro das potencialidades no acesso à energia limpa ao promover um movimento convergente da parte de quem planeia e promove o uso da energia limpa e saudável para o edificado enquanto objeto construído no urbano e para quem planeia e desenha o edificado típico e definidor do espaço urbano, não só no somatório dos lares ou espaços-família mas também no restante património construído, comercial, industrial ou outro;*
- ii. no ímpeto social de quem tendo vivido 50 anos num contacto intenso com toda a energia, desde estágios em petrolíferas (Esso Standard Italiana) em Roma, ao doutoramento em Lausanne (Suíça) com ligação muito estreita com uma empresa-líder a nível Mundial na produção de equipamentos para a eletricidade (Brown Boveri) e a interação com a EDP ao longo de vários e muito profícuos anos na promoção da simbiose energia-ambiente em Portugal;*
- iii. no privilégio que levou a uma vida académica em áreas de relevante interesse social como são as do ambiente atmosférico, exterior e interior, da tecnologia energética para o edificado e da ciência para a valorização do aproveitamento do Sol e do respeito pelo Clima como*

da preocupação com o ambiente interior do edificado e a saúde numa abordagem multidisciplinar que convergiu, desde logo, no conforto, na qualidade do conforto e do ar ambiente interior e terminando na relação do construído com o ambiente 'at large'.

Em nome do meu co-autor e meu próprio, agradeço todo o acolhimento deste nosso 'exercício', desde logo, por parte do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, da Fundação Mestre Casais e da UMinho Editora, a quem se augura um grande sucesso.

Eduardo de Oliveira Fernandes

Professor Emérito da Universidade do Porto

1. Introdução

Na lonjura do tempo, o edificado surgiu da necessidade de 'abrigo' para o homem com tudo o que aquela palavra possa conter, nomeadamente, em termos de lar, isto é, de família, com a sua privacidade, segurança e conforto. Entretanto, que resquícios desse 'quadro' de vida serão ainda visíveis em aldeias de Portugal!... E, tão pouco, não menos graves nas orlas dos centros industriais neste país sob uma gestão tolerante porque exercida com

demasiada ignorância. Importa, por isso, agora e aqui, glosar o tema ‘abrigo’ explorando ‘tudo’ o que se refere ao ‘habitat’, isto é, no que, para além dos requisitos do domínio da privacidade e da segurança, deverá contemplar a salvaguarda da saúde e do conforto, face às especificidades climáticas do local, quer em termos geográficos (latitude e altitude, entre outros), quer no que respeite às condicionantes ambientais do lugar propriamente dito (cap. 4), nomeadamente, a proximidade de atividades industriais, agrícolas ou outras putativas emissoras de ruídos, de gases e de partículas poluentes que poderão acrescer ainda causas inerentes ao tráfego que tais atividades requerem e estimulam.

Assim, impor-se-á a necessidade de responder à questão *sine qua non* de saber se é possível almejar uma localização para cada edifício como um todo, que possa assegurar uma gestão ágil, suave e eficaz, dir-se-ia, quase natural, de edifício-abrigo que seja saudável e energeticamente adequado, em consonância com as variações dos parâmetros climáticos, ao mesmo tempo que sensível aos níveis e tipos de ocupação.

Então, numa perspetiva holística, isto é, global, de todo o edifício na sua exposição ao Sol, na gestão da luz e do calor, aquela e esta quanto possível e, primariamente, provenientes desde logo, da radiação solar pela geometria e localização do edifício e, pela criação no próprio edifício de estratégias do uso da energia do sol, em termos de:

- a) respeito pela geometria da radiação solar com orientação das aberturas face à trajetória do Sol de modo favorável à captação da radiação solar nos espaços interiores durante os meses mais frios;
- b) aproveitamento inteligente da capacidade de armazenamento de calor nos elementos pesados da construção, incluindo paredes e pavimentos, expostos à radiação incidente e dispondo de inércia térmica favorável, para além de isolados quanto possível do exterior;
- c) isolamento térmico do edifício aplicado imperativamente revestindo todo o edifício pelo exterior sem descontinuidades além das aberturas;
- d) recurso complementar a equipamentos de ventilação, aquecimento e, eventualmente, arrefecimento segundo praxis que infelizmente não são de todo frequentes em Portugal, e
- e) sombreamento regulável sem qualquer cedência irresponsável.

E, quanto ao ar interior (cap. 2.8), trata-se de garantir decisivamente um habitat liberto de gases ou fumos interiores (cigarros, velas, lareiras menos bem equilibradas, produtos químicos de limpeza, entre outros) e de partículas poluentes emitidas por materiais usados por atividades praticadas no interior, inclusive, pelos equipamentos de climatização mas, também, provenientes do ar exterior, como químicos ou partículas vindos dos espaços urbanos circundantes devidos ao tráfego intenso, nomeadamente, em autoestradas e vias rápidas, cujas emissões poluentes podem chegar a edifícios transportadas pelo vento quando estes estão a jusante daquelas e, ainda, devido a atividades industriais ou agrícolas, incluindo, neste último caso, os provenientes de campos cultivados onde se usam pesticidas.

Note-se que o que aqui se deixa não é apenas uma possibilidade. Trata-se de uma realidade detetada por investigações no terreno, conjunta e não só, em muitos locais do país, na Europa e no Mundo, incluindo – e aqui mencionado como mero exemplo - por parte da Universidade do Porto (Faculdades de Engenharia e de Medicina). Investigações no interior de casas, escolas e em piscinas, etc., como nas áreas vizinhas dos edifícios, nomeadamente na proximidade de explorações agrícolas e, ainda, dos agentes biológicos nas superfícies interiores dos edifícios devidos aos efeitos das humidades surgidas nas superfícies interiores por infiltrações e/ou por condensações em paredes não isoladas pelo exterior ou em condutas de aspiração ou extração do ar ou de fumos mal mantidas/operadas.

Importa assim assegurar, antes que as doenças apareçam, uma ventilação suficiente e eficiente deixando, eventualmente, à ‘domótica’ e à ‘informação eletrónica’ o papel último de ‘sensor múltiplo’ e de ‘cérebro’ integrador e ‘indicador’ ou ‘decisor’ (cap. 6.1). Em todo o caso, a condução da casa com conhecimentos de base, como é referido atrás, com a informação suficiente e adequada e com os atores responsabilizados, eles próprios, e atentos, poderá ser mais uma fonte do bem-estar que todos almejamos. Num vasto exercício de difusão internacional foi possível identificar o impacto dos ambientes envolventes (autoestradas, fábricas, etc.) na zona Norte/litoral do nosso país na saúde de crianças, e não só. A Universidade do Porto e, particularmente, uma sua entidade de investigação e desenvolvimento tecnológico designada de INEGI-FEUP tem equipas de investigação com um significativo acervo de resultados difundidos em revistas da especialidade que poderiam ser trazidos para aqui.

E, tudo o que se deixa acima - mesmo assim, sob a condição de ser ou não ser possível de executar, mesmo quando disponível, ou ser utilizado só

parcialmente, por vontade dos utentes - deve sempre ser empreendido numa atitude ciente de que o conforto e a saúde requerem de cada um, isto é, de cada adulto, no seu lugar de trabalho como em sua casa, a assunção plena duma responsabilidade instruída.

1.1. Edifício de Elevado Perfil Ambiental

Um *edifício de elevado perfil ambiental (E²PA)* é um espaço personalizado, expressamente desenhado e construído para valorizar o uso das tecnologias portadoras das amenidades, nomeadamente, de controlo/comando automático da iluminação, do aquecimento e da ventilação, as amenidades mais necessárias em todo o Portugal para além de escassos casos justificados de refrescamento (ar condicionado!). Porém, há que ter em atenção, para espaços com permanente ocupação múltipla, a necessidade de segurança apoiada na excelência e na meticulosidade dos automatismos com as suas redundâncias, sem abdicar do questionamento da oportunidade dada à utilização de meios de gestão atentos os aspetos sensoriais e os atos volitivos esclarecidos e específicos dos utentes, quando aplicável. Desde logo, por exemplo, através de um 'esclarecido abrir de janela'.

'Elevado Perfil Ambiental' é uma terminologia especificamente criada para libertar o debate da trivialidade física da construção e sublinhar a relevância da responsabilidade do urbanismo e do projeto do edificado por quem, na circunstância do conhecimento e da experiência nestas matérias e do conseqüente imperativo ético, agora e aqui, procura fugir à multiplicidade, leia-se, trivialidade das designações correntes, porventura generosas ou mesmo ajustadas na origem mas, seguramente, difundidas e usadas de modo oportunista e parcelar, desviadas ou esvaziadas do seu significado 'esférico' e 'holístico' e, assim, tornadas redutoras todas elas face ao que representam e àquilo ao que vêm (cap. 2.4 ou 2.4).

Assim, os 'edifícios de elevado perfil ambiental' estarão quanto possível aptos a responder por si e em si mesmos às exigências do conforto térmico segundo o conceito do 'conforto adaptativo' (cap. 2.7) e da saúde no que respeita aos ambientes interiores (cap. 2.8), o que é largamente exequível, 'et pour cause', para o clima de Portugal (cap. 4.1) com o recurso a um moderado uso de energia ativa (cap. 4.1), em termos comparáveis tecnológica e economicamente com outros países da UE. Isto, sabendo ainda que o clima local envolvente é muito relevante e que a condição da garantia de saúde, conforme se verá adiante, deverá ser chamada à colação logo no

início do projeto de arquitetura, ou seja, muito a montante dos sistemas ‘add on’, como o ar condicionado, este² a requerer uma redução dramática no seu uso em Portugal, posto que vem sendo trivializado neste nosso país de modo absolutamente irresponsável, profissional, comunicacional e politicamente, já que o sistema central é o edifício/objeto a edificar atentas as suas funções, localização e orientação como o ambiente *latu sensu* e conhecimento responsável por parte dos utilizadores.

Almejar, então, um edificado de ‘elevado perfil ambiental’ significa projetar e construir em resposta à problemática da evolução do clima global, esta que é a verdadeira, única e bastante razão de ser da invocação do mérito do edificado em termos da sustentabilidade contribuindo para reduzir a necessidade de energia ‘add on’ e procurando usar bem todo o potencial do clima local para reduzir a necessidade do recurso às energias fósseis e, sempre que tal for possível, tornando estas últimas dispensáveis.

Uma vez tal assente na já referida e nunca demais repetida que é a subtil interação do edifício com o clima local e na salvaguarda de todas as amenidades que a tecnologia possa proporcionar, hoje e no futuro, para uma ‘felicidade esclarecida’, isto é, um bem-estar que, por pleonasma, se pode sublinhar como sendo saudável e responsável perante a imperiosa e planetária necessidade de gestão adequada dos recursos face à condicionante maior do nosso tempo. As ameaças ao clima global ou à sustentabilidade global com o uso indisciplinado de energia estão intimamente identificadas como a razão do combate àquelas ameaças e, em qualquer caso, com a via para a sua atenuação.

Aqui, um edifício com ‘elevado perfil ambiental’ significa, muito simplesmente, um edifício com uma expressão atual e exigente em termos holísticos, i.e., arquitetónicos e físicos (construtivos), incluindo todos os tipos de diálogo que o seu uso implique e que privilegie uma aproximação à suficiência - esta que se deve requerer que apareça antes da eficiência - em energia e em água e noutros recursos vitais através do combate ao desperdício *latu sensu* e da salvaguarda de uma conformidade com o clima global, ou seja, satisfazendo localmente a condição maior de sustentabilidade ambiental.

Tal conseguir-se-á com uma abordagem ao projeto do edifício cuidando em devido tempo – isto é, ainda antes dos aspetos da localização,

² Em favor da verdade e da honra de profissional vale deixar anotado que o ‘primeiro autor’ deste texto tem muito orgulho em ser membro (Fellow) da maior organização profissional para o Ar Condicionado (ASHRAE, EUA).

arquitetónicos, estruturais e construtivos - da adequação do solo tendo em conta o histórico dos seus usos anteriores e de condicionantes ambientais, locais e regionais, ou outras; e, da orientação das fachadas e suas fenestrações, isto é, da qualidade da envolvente opaca, atento o seu comportamento em termos do isolamento térmico, ou seja, da sua capacidade de conter as perdas de calor na estação do aquecimento, isto é, do interior para o exterior de forma contínua sem pontes térmicas uma vez atentas as exigências/restrições em termos das áreas dos vãos envidraçados em função da sua orientação face à geometria do Sol e/ou aos ventos dominantes e, consequentemente, ajustar os ganhos solares ao mesmo tempo que garantir os sombreamentos. Isto, assegurando ainda a inércia térmica de toda envolvente - nunca de madeira - com espessura e densidade que permitam a captação da energia exterior por radiação e o armazenamento do calor do dia para a noite assegurando assim a correlacionada estabilidade da temperatura no intervalo de tempo 'dia/noite' do ambiente térmico interior. E, ainda, na procura de uma específica qualidade ambiental quanto à não emissão de poluentes no interior, evitando a geração de agentes biológicos pela ocorrência de superfícies húmidas por parte dos materiais de construção e/ou de revestimento interiores com condensações ou permeabilidades da humidade.

1.2. Porquê explicitar 'Em Portugal'?

Qualquer edifício enquanto sistema físico deve poder satisfazer determinados requisitos ao nível da arquitetura e da física das construções em diálogo, antes de mais, com o lugar, isto é, com o ambiente, 'at large', e o clima. Portugal tem um clima moderado/temperado que se caracteriza, desde logo, para além da ausência de temperaturas e humidades extremas, pela relevante não simultaneidade de elevadas temperaturas e humidades relativas do ar (cap. 4.1) como ocorre, por exemplo, nas regiões tropicais.

Ora, tal significa, por exemplo, que em Portugal, ao contrário do que ocorre nos climas tropicais, em que coincidem no tempo temperaturas e humidades relativas extremas, o simples sombreamento é, em geral, já um fator decisivo, ainda que nem sempre necessariamente cabal para o conforto no verão. Assim, a necessidade tecnológica do ar condicionado num espaço fechado pode pura e simplesmente perder a razão de ser, desde logo, quando for baixa a carga da ocupação humana no espaço específico em apreço como é o caso generalizado da habitação, e, ainda, quando as superfícies interiores forem de acabamento 'impermeável' ao calor e o sombreamento da radiação do Sol for assegurado por persianas exteriores ou outros meios

de proteção exterior dos envidraçados. É assim que, se for possível considerar na implantação e no desenho do edifício o benefício da orientação ao Sol com a possibilidade de usar a sombra de árvores de folha caduca que projetem sombra sobre a casa nos dias quentes, nomeadamente, a partir do meio dia e até ao pôr do Sol, estaremos perante uma atitude bem portuguesa, porque atenta aos parâmetros do conforto, naquele dia e naquele lugar. Nada disto é novidade, mas tem estado muito esquecido. Não pelo saudoso Arquitecto Fernando Távora, farol maior da Arquitectura e da Universidade do Porto, já falecido, quando, por exemplo, projetou o Bairro de Campinas na cidade Porto plantando árvores frondosas maioritariamente de folha cadente que conseguem projetar sombras até aos 4.º pisos dos blocos habitacionais na estação quente.

Já o aquecimento específico do ambiente interior poderá não ser tão facilmente dispensado na estação fria ainda que também, e de forma mais ou menos mitigada, possa ser 'servida' de forma efetiva e económica. E isso consegue-se, associando sempre e exclusivamente, ao desenho do edifício, de forma generalizada e como condição irrecusável, isolamentos térmicos aplicados pelo exterior (cap. 5.1) adequados à inércia térmica das paredes (cap. 5.3) e à captação da insolação tendo em atenção a orientação geográfica e à gestão racional da própria exposição vs sombreamento solar (cap. 5.2). E, também, pela exploração da geometria da radiação ao longo do tempo, isto é, dos dias e das estações e, em geral, tendo por 'atenuante' o estar atento à suavidade do clima de Portugal.

Todas as considerações acima deverão ser sempre tidas em conta no projeto de arquitetura dos edifícios em Portugal, desde logo, também para evitar quanto possível o recurso à climatização mecânica, vulgo, ao ar condicionado ou, no mínimo, reduzir significativamente as potências de tais equipamentos (cap. 7). Em qualquer caso, com ou sem equipamentos do tipo acima, é de reforçar a efetiva oportunidade para explorar a suficiência energética nos edifícios (cap. 2.5), nova terminologia para um conceito milenar já experienciado, nomeadamente, por Vitruvius na Roma Antiga, isto é, a acomodação da temperatura ao longo de um certo tempo pela localização, orientação, construção e utilização.

1.3. Um Novo Conceito de Habitação para o Futuro

Há que tornar claro que o que se deixa acima não é alcançável seguindo apenas as práticas correntes, muitas delas infelizmente inadmissíveis não

já tanto pela simples ignorância dos construtores, que cobrem um vastíssimo grupo de profissionais, mas pela evidente falta de educação profissional da parte de muitos projetistas e empreiteiros, respeitáveis enquanto cidadãos, mas seguramente que não enquanto profissionais. E aqui, há que alertar – criticar mesmo - a própria gestão do aparelho do Estado onde é provável, para não ser mais agreste, que haja secções/departamentos onde o tema não tem sequer sido formulado e acabe por ser desconhecido ou, pior ainda, desvalorizado.

Mesmo o recurso a novas tecnologias e a novos materiais na construção são tomados isoladamente, quando é imperativo atentar a que há novas exigências ou requisitos que apelam a uma abordagem de integração de três ‘valores-objetivo’ fundamentais para cada edifício como sejam, por um lado, a saúde, o conforto, e, por outro, a sustentabilidade global na aceção energético-ambiental aqui adotada. E isto, uma vez assumido que se pretende salvaguardar a qualidade dos dois ambientes, o da área urbana e, muito particularmente, o do ar interior, os quais podem ficar significativamente ou mesmo irremediavelmente prejudicados se o projeto ficar confinado ao esquisso arquitetónico/formal e/ou à abordagem dos temas construtivos correntes sem uma atenção responsável aos valores ambientais no exterior antes mesmo de no interior de cada edifício.

O que se aborda nos parágrafos seguintes não significa necessariamente uma nova sequência metodológica para o projeto de edifícios distinta da legalmente estabelecida. Mas tão pouco se quer dizer que se não deixe a quem de direito a ponderação dos valores que aqui estão em jogo. Tal não pode ser objeto de condescendência, nunca mais, com interpretações levianas como algumas das que preenchem os documentos legislativos neste domínio em Portugal. Não se pode continuar a enveredar por aí já que se entende que é absolutamente devido o conhecimento do roteiro legislativo sem deixar de abordar a conexão ‘lugar/objeto construído’ com a responsabilidade da dupla autarquia/Estado pela saúde e o bem-estar dos utentes. E assim, põe-se frontalmente em questão que, em Portugal, seja prioritária a problemática energética que nos leva, quais exploradores incautos, em todos os sentidos, à cata do lítio ou do hidrogénio ou de outra fonte de energia e se continue a deixar construir edifícios que cidades como o Porto têm vindo a aprovar (fig. 3), esta que até tem uma Agência de Energia criada por modesta proposta dos autores destas linhas.

A ilustrar o que se deixa acima vale evocar o episódio de uma visita ao autarca duma cidade de Trás-os-Montes. A certa altura, tendo ido à varanda e

vendo que havia um pujante núcleo de edifícios em construção, demo-nos conta de que não parecia claro haver uma consistência formal dos lotes em construção em relação, nomeadamente, à trajetória do Sol, aos ventos dominantes e, mesmo, tendo atenção a própria localização. Perguntamos então nós ao presidente da autarquia como é que poderia tal acontecer ao que gentilmente respondeu: 'que quer, o dinheiro é deles'. Ainda hoje tal nos ecoa como num túnel. Aqui fica o testemunho não como queixa, que o não é, mas como alerta, de que aqui algo estaria em falta.

Não nos podemos coibir por razões éticas, profissionais e de responsabilidade como cidadãos modestamente instruídos de projetar um tal parágrafo, qual colofão que fale a um país generoso mas incauto no arranque para um novo estádio de conhecimento e de respeito pelo ambiente e pelos cidadãos. Isto tudo a começar por S. Bento onde a pobreza de conhecimento nestas matérias ou o alheamento irresponsável dos serviços envolvidos são por demais chocantes, a quase não ser possível acreditar.

Antes de mais fixemo-nos na energia que é suposta ser precisa nas centenas de nossas autarquias, estas que, infelizmente, são totalmente impotentes para promover novas formas de construir os edifícios de modo a que sejam mais saudáveis e assegurem baixos consumos de energia, desde logo, do 'ar condicionado' já que este é facilmente suscetível de ser tornado desnecessário, particularmente nas habitações, face ao clima do nosso país. E pensemos que, no próximo cêntimo a despender num qualquer novo 'objeto urbano a construir', haverá que ter em conta os valores com que, em resultado de uma vida longa experimentada em torno deste tema, vêm reagindo países como a Austrália, o Japão, a China, a Itália, a França e, com um enorme impacto, aliás, toda União Europeia. Introduzam-se, então, novas pistas e novas perspectivas que são novas formas de reorganizar o parque construído, ele mesmo, beneficiando a tipologia do nosso ambiente interior, como o fará cada país e cada povo. Isto, para que Portugal possa tirar o maior partido da tecnologia da energia, agora e aqui, sem acorrer de uma forma pouco racional a soluções que não são as mais adequadas a este clima. E, se fizermos assim poderemos perceber a inexplicável leviandade de cobrir terras férteis do Alentejo com painéis solares fotovoltaicos.

Para que não seja assim, há que articular um conjunto de novos pontos de mais-valia ínsitos ao conceito do edifício, *hic et nunc*, e produzir uma listagem inovadora de valores a considerar, que é de toda a conveniência ter antecipadamente presentes logo que se arranque para a exploração de

mais energia ambiental (solar, eólica, ...), seja sob a forma de eletricidade, de calor, de luz ou de frio.

Importa aqui sublinhar sem qualquer ambiguidade a referência ao conforto térmico entendido como o conceito do conforto adaptativo (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2013) (ver 2.7), que valoriza a relação da temperatura interior com a temperatura média exterior e a capacidade de adaptação de cada edifício, através das suas superfícies envolventes e de toda a sua construção, a qual deverá acontecer em coerência com a valorização da inércia térmica e o adequado diálogo com o ambiente circundante no que respeita ao Sol, a ventos, ruídos, etc. mas, também, do cidadão que com o seu vestuário e organização do ambiente possa valorizar a excelência do ambiente do seu local e do efeito da inércia térmica do interior do edifício, efeito este que, salvo na ausência de alternativa como pode ocorrer em casos extremos de reabilitação, inibe e condena radicalmente a prática errónea do isolamento térmico pelo interior das paredes. Estas devem ser sempre revestidas e protegidas pelo exterior favorecendo o contributo da sua massa térmica para o armazenamento de calor e a manutenção/duração da temperatura das paredes mais favorável ao ambiente interior, no verão como no inverno.

Focando-nos por momentos nos edifícios de habitação, para além da experiência milenar que leva a que seja fácil compreender as razões das formas e das soluções de diálogo dos edifícios com a geografia, isto é, com o clima e o lugar, importa, especificamente, apurar, para benefício das gerações de hoje e do futuro, os efeitos da investigação desenvolvida em todo o Mundo a partir da década de 70 e com mais intensidade a partir dos anos 80 do século passado, designadamente no seio do movimento PLEA (*Passive and Low Energy Architecture*), exemplificada em Portugal através de um concurso internacional para um bloco de habitação social em Vila do Conde (Figura 1) que tivemos a honra de promover nos anos 80 e que recolheu mais de 20 propostas de solução provenientes de equipas de projeto de vários países europeus. Essa abordagem beneficiou muito do desenvolvimento dos meios de cálculo numérico, entretanto em desenvolvimento, capazes de simular por antecipação e em sintonia com o projeto, as funcionalidades e respetivos resultados energéticos das muitas componentes físicas de um edifício.

Também a saúde merece aqui um sublinhado, porventura, surpreendente. Com efeito a saúde, na definição da OMS é “um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não somente de ausência de afeções e enfermidades” e conseqüentemente é muito mais do que ausência de doença. Ora há aspetos de causas de doença que, tendo sido identificados e tendo



Figura 1 Edifício de habitação social em Vila do Conde, projetado de modo a ter necessidades muito baixas de aquecimento e quase nulas de arrefecimento (Arquiteto Alexandros Tombazis), veio a ser reconhecido com os prémios INH e PLEA (Porto, 1988).

merecido propostas de solução, estão intimamente ligados aos espaços interiores e ao seu uso e que, por isso, merecem que se adotem medidas a montante, na fase do projeto, nomeadamente, de seleção das soluções de desenho e dos materiais, e se crie uma ética no uso dos espaços interiores que erradique ou atenuate as causas de doença, como a *legionella* e as recentes pandemias do 'H1N1' à 'COVID-19' ou ainda algum químico já identificado como perigoso, cujo efeito, por ser, em geral, percebido com o tempo, não suscita alarme social.

Um outro exemplo ilustrativo do que aqui se almeja, muito embora não seja modelo para o caso de um edifício residencial, consiste no caso 'histórico' da Basílica da SSma. Trindade em Fátima, Portugal, 2002 (Figura 2), projeto que seguiu as grandes linhas do que aqui se propõe, de forma sistemática e profunda, desde o lançamento do concurso de arquitetura que seguramente motivou a escolha de um projetista singular por parte do júri internacional. Não por acidente, foi o mesmo arquiteto Alexandros Tombazis, que desenhou o edifício de habitação social de Vila do Conde. Algumas facetas determinantes do seu desempenho, como sejam as que respeitam à iluminação natural vinda do teto, por um sistema sofisticadíssimo, e à ventilação 'quase-pessoal', sem mistura, num espaço com capacidade para 9000 pessoas sentadas, só puderam acontecer assim porque essas especificações integravam o caderno de encargos e encontraram resposta cabal por parte de um arquiteto sensibilizado e experiente neste tipo de abordagem holística e de apelo à suficiência energética do edifício em causa.



Figura 2 Fotografia do interior da Basílica da SSma. Trindade em Fátima (2002).

Estes dois exemplos de edifício em Portugal, do Arquiteto Tombazis, cada um na sua circunstância, permitem ilustrar de forma cabal o potencial, desde o 'edifício de habitação social' ao 'edifício-monumento', o quanto e o como é possível fazer pela energia no que ao edificado diz respeito.

É claro que é necessária uma regulamentação, mas, além desta, será ainda necessário criar uma cultura de compromisso ético uma vez que a prática continua a mostrar a leviandade, para usar uma palavra suave, com que os Municípios infelizmente continuam a abordar a questão da energia na cidade.

Na Figura 3 reproduz-se uma fotografia de um edifício muito recente, e exemplar pela negativa, na cidade do Porto, com as quatro fachadas envidraçadas. Poder-se-á e deve-se criticar o excesso de energia de que seguramente tal edifício virá a carecer, nomeadamente, para o ar condicionado, dado o excesso irracional e a-ético das quatro fachadas de vidro, numa cidade que chegou a ter uma verdadeira Agência de Energia – e, agora, talvez haja sido construído na expectativa de que, entretanto, possa vir eletricidade de painéis fotovoltaicos 'plantados' no Alentejo, passe a ironia.... Isto é, será que haverá crise de energia? Pelos vistos, não nas cidades como neste caso 'contra-exemplar' da cidade do Porto já que parece que as autarquias ainda são alheias à problemática da energia no edificado da cidade.



Figura 3 Fotografia de Edifício alheio ao interesse energético nacional em Portugal com suas quatro fachadas indiferenciadas em vidro e displicentemente protegidas com quebra-sóis incorretamente desenhados - Porto, Portugal (2021).

1.4. A Regulamentação Térmica e Ambiental como Quadro Base

Um edifício como o que aqui se almeja tem necessariamente que respeitar as regulamentações térmicas e urbanísticas aplicáveis a nível nacional, e ainda outras, quando aplicáveis, como, por exemplo, as restrições das regulamentações específicas em centros históricos como teve lugar no caso da Baixa do Porto (Santos, Valença and Fernandes, 2017), solução apresentada em Matera, Itália, e que causou um enorme impacto junto dos arquitetos presentes.

Já quanto aos métodos de avaliação ambiental, na ausência de um sistema regulamentar específico de cariz oficial, a posição face a um E^2PA é de aqui elencar um conjunto de critérios e valores que, embora possam coincidir, no todo ou em parte, com sistemas já existentes (BREEAM, LEED, LiderA, etc., cap. 10), deverá estar centrado em Portugal.

Conceitos importados como os da *Passivhaus*, entre outros, foram por exemplo concebidos para dar resposta a uma realidade 'importada' da Alemanha cuja situação climática e construtiva pouco ou nada se assemelha à de Portugal, pelo que, desde logo, não se identificam com a generalidade dos valores sublinhados num projeto de um E^2PA .

As abordagens sugeridas implicitamente por aqueles sistemas de avaliação referidos acima, apoiados em esquemas de pontuação agregadores de categorias diversas, caem num 'formalismo' que tende a ignorar no seu programa, as especificidades do local, do clima e da cultura. Adicionalmente, têm subjacente uma matriz de ponderação relativa dos diversos valores e critérios de avaliação que, impõem uma estrutura inflexível de critérios correntes, quantas vezes desajustada à maioria dos casos de aplicação. Note-se, portanto, que não são os parâmetros de avaliação em si que podem ser criticados, até porque esses estão geralmente muito alinhados com os que aqui se sugerem como sendo os mais relevantes.

Contudo, ao invés do promovido nestes sistemas de avaliação, procura-se que para um edifício em Portugal, um E^2PA reflita o estado do avanço do conhecimento científico e técnico nos domínios relevantes incluindo, também, os resultados da experiência de 35 anos de pioneirismo neste domínio em Portugal, tendo em conta o contexto climático e social do nosso país (de Oliveira Fernandes, Maldonado and Gonçalves, 1987) a partir da criação de um modelo de casa construído no parque do então LNETI na Cidade do Porto e na dependência científica da FEUP (Figura 4).

A CTO – Casa Termicamente Otimizada – põe em destaque uma terminologia ('casa solar'), mas também a qualidade e o conforto interiores experimentados, pernoitando ali Professores especialistas vindos dos EUA e da Austrália e sendo visitada por numerosas personalidades a trabalhar nestes domínios em toda a Europa, em Israel, no Japão, nos EUA, etc. Daqui resultou muito conhecimento, infelizmente não transferido para o processo de projeto então corrente em Portugal por alheamento das estruturas políticas e técnicas afins dos sucessivos Governos ao longo de 50 anos! Outras intervenções tiveram lugar na sequência deste projeto, desde logo, num belo edifício no Campus do Lumiar do LNEG (então INETI) em Lisboa e múltiplas intervenções no território nacional e não só, nomeadamente, na EXPO98 em Lisboa, mas também na EXPO92 de Sevilha que a antecedeu.

No entanto, a constituição de um sistema de avaliação holística correria o risco de ser uma tarefa ciclópica de resultado duvidoso, como ilustra o caráter inconsistente de qualquer dos sistemas existentes referidos, cada



Figura 4 CTO – Porto – Casa Termicamente Otimizada (INETI/LNETI e FEUP) – E de Oliveira Fernandes *et al.*

um mercado por aspetos culturais próprios à comunidade onde foram criados e enfermando todos da debilidade resultante da ambição de pretender proporcionar uma avaliação holística universalmente aplicável. Quanto mais holística, menos universal é a avaliação dada a especificidade da ponderação de critérios de ordem radicalmente diversa de cada ambiente local (temperatura, humidade, ventilação, sombreamento, etc.)

2. Energia nos Edifícios. Conceitos

O domínio da energia nos edifícios tem-se revelado muito carente de terminologia e de linguagem adequadas, tantas são as mudanças em curso nos conceitos, tecnologias e materiais e, nas práticas, especificamente, na relação dos edifícios com a energia. Não já com a energia-eletricidade em que esta tem intervindo até aqui como um *'add on'* sem qualquer ou

com pouca relação intrínseca com o edifício, mas, ao contrário, na relação com a energia-calor, uma energia ambiental por excelência, envolvente no ambiente exterior como no interior e crucial para a gestão do conforto térmico dos utentes no interior.

Conquanto haja sido até aqui muito subapreciada quando não desprezada em Portugal pelo sector da construção e, em geral, pela população, a energia-calor é nada mais nada menos do que simplesmente vital, isto é, essencial para a saúde e para o conforto nos edifícios e o bem-estar das populações, independentemente da sua situação económica. Daí, a vantagem da amenidade do clima em Portugal, em comparação com os casos dos países de latitudes mais altas, a qual não pode aqui ser uma desculpa para a não valorização da energia-calor como um parâmetro essencial do conforto e da saúde para climas como o de Portugal. Ao contrário, a condição da amenidade do clima comporta dois desafios à inteligência e à responsabilidade: por um lado, o que decorre da solução do conforto poder ser alcançada ou significativamente aproximada, desde logo, uma vez obtido um apropriado projeto concebido no espírito ou no quadro deste livro, isto é, com a orientação, a forma e o método construtivo, incluindo os materiais e a sua localização; e, por outro lado, também a gestão do edifício, enquanto tal, incluindo o uso dos equipamentos complementares necessários, em natureza e dimensão, com estas a serem adequadas para que deem garantia de um almejado conforto com recurso a tão pouca energia de apoio quanto possível. Tal incerteza deverá ser criticamente sujeita à apreciação da condição da localização e à própria orientação dos edifícios relativamente à trajetória do Sol e à ação dos ventos...

2.1. A Energia

Energia é uma palavra que vem do grego e, etimologicamente, significa movimento. Este, por sua vez, refere-se a uma forma de energia mecânica (no caso, denominada energia cinética) de que são exemplo a energia associada ao vento ou energia eólica e à corrente de água ou energia hídrica.

O nosso planeta tem uma dotação energética muito rica em formas muito diversificadas (Figura 5), esteja ela já toda descoberta/quantificada ou não³. Parte dessa energia está embebida na litosfera (geotermia, nuclear,

³ A dotação energética do nosso planeta surge-nos como o resultado de um conjunto de fenómenos físicos e químicos que remontam à origem do próprio planeta. Desde logo o processo de acreção que lhe deu origem há cerca de 4.5 mil milhões de anos gerou quantidades enormes de calor que ainda

biomassa fóssil), mas os seus usos têm-se revelado problemáticos e não parecem poder ser perenes. A grande fonte, *hic et nunc*, é sem dúvida o Sol, cuja energia, recebida sob a forma limpa de radiação (uma parte predominantemente visível e, outra, infravermelha), regressa eventualmente ao espaço exterior, também sob a forma de radiação, se bem que com uma qualidade 'degradada' em relação à que chega, posto que toda na banda específica de infravermelho. Se parte daquele retorno da radiação deixar de ocorrer, devido ao aumento da presença de gases de efeito de estufa na atmosfera, acontecerá a mudança do clima no sentido de um progressivo aquecimento do Planeta, não como uma '*step function*' ou um choque, mas sob a forma de uma degradação progressiva que, nem por isso, nos poderá inibir da responsabilidade geracional.

Na já referida Figura 5 apresenta-se um quadro quanto possível exaustivo das formas/designações da energia ao nosso alcance. Perante uma tal diversidade, resulta desde logo claro que chamar à eletricidade 'a energia', com o artigo definido, ou – o que é ainda pior – 'a luz' na linguagem descuidada dos meios de comunicação social, nomeadamente e, até, dos atores de S. Bento, é uma prova de menoridade nestas matérias que urge corrigir. A energia não se produz. A energia pode estar armazenada na floresta ou no subsolo, mas, em qualquer caso, é convertível, isto é, a energia 'B' pode ser obtida por conversão a partir da energia 'A' ou da 'C' sendo que grande parte dessas conversões não se fazem sem custos energéticos ou ambientais, ditos 'perdas' e, conseqüentemente, representam custos económicos diretos ou indiretos, no imediato ou no futuro. Os conceitos acima, porém, são cruciais para a gestão saudável de valores tão críticos como os que se relacionam com o dipolo energia-ambiente face ao desígnio imperioso do desenvolvimento sustentável.

hoje se mantêm, em conjunto com o decaimento atómico natural de elementos radioativos e os efeitos de atrito em movimentos de grandes massas de terra e água, um potencial gigante (mas não necessariamente aproveitável) de calor denominado, agregadamente, de geotérmico. Por seu lado, a energia potencial presente em parte desses elementos atómicos radioativos, pode ser aproveitada diretamente para produzir vapor de água a alta pressão e mover turbinas em centrais nucleares. Os efeitos do tri-polo gravítico Sol-Terra-Lua gerem também, além de calor geotérmico, movimentações de grandes massas de água que podem alimentar uma diversidade de formas distintas de aproveitamento da energia das marés. Por seu lado, a radiação que nos chega do Sol alimenta todo um sistema climático cujas partes mais importantes se constituem nos sistemas de ventos e dos ciclos de água que podem ser aproveitados por geradores eólicos e hídricos. A radiação do Sol alimenta igualmente a grande maioria da biosfera e, em particular, o ciclo de carbono de que aquela faz parte. Por via dos organismos autotróficos (i.e. fotossintéticos), a radiação solar é convertida em energia química em compostos orgânicos, a qual pode ser usada de forma natural e renovável, sob a forma de biomassa em madeira e resíduos orgânicos. Por fim, uma outra parte de toda a biomassa que outrora se formou, foi eventualmente sujeita a um processo de 'cozedura' a elevadas pressões e temperaturas durante milhões de anos, que encapsulou essa energia no subsolo sob a forma de combustíveis denominados fósseis, como sejam o carvão, o petróleo e o gás natural.

Praticamente qualquer forma de energia pode ser convertida, com maior ou menor eficiência, noutra forma de energia e, em particular, em formas de energia dita útil, isto é, mais fácil de gerir pelos cidadãos como, por exemplo, na eletricidade. Mas há outras formas de energia, como é o caso da energia química, que é inerente à própria composição da matéria e que se apresenta com elevado potencial energético (biomassa fóssil ou renovável). Este enunciado engloba algumas das formas de energia que existem na Natureza, que durante muito tempo foram quase únicas no suprir de grande parte das necessidades do homem (calor e iluminação noturna a partir do fogo de lenha), mas também calor e iluminação diurna da radiação solar e energia mecânica do vento (moinhos, navegação e bombagem) e nos rios (navegação, transporte de madeira, etc.) e nos mares (navegação)⁴.

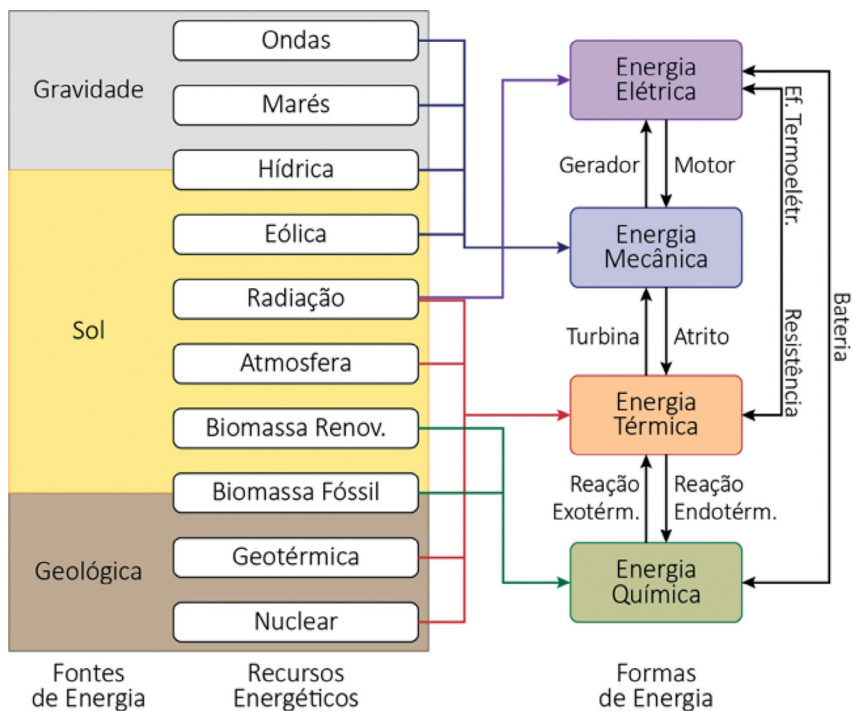


Figura 5 Fontes de energia e respetivos recursos energéticos primários, e sua relação com as diversas formas de energia e as vias tecnológicas ou físicas de conversão e transformação.

⁴ De notar que as tecnologias de bomba de calor ou de ar condicionado permitem transportar energia térmica diretamente entre espaços (geralmente, do ar exterior para o ar interior), sem que nesse processo haja conversão significativa de energias (exceção feita à fração de eletricidade usada para movimentar o compressor).

No entanto, a revolução energética – necessariamente, em termos quantitativos, de intensidade/densidade e de acessibilidade – emergiu com a invenção da máquina a vapor e dos motores térmicos de combustão interna (Otto e Diesel), das turbinas a vapor e a gás e da eletricidade, entre o século XVII e XIX tendo levado à revolução industrial apoiada na disponibilidade dos combustíveis fósseis, apesar de tudo, bastante baratos mas sem grande respeito pelo ambiente

Só nos anos 80 do século passado surgiram os alertas contra os efeitos ambientais da exploração da energia por parte da população com crescente acesso às disponibilidades de meios de uso da energia dos combustíveis fósseis e, desde logo, contra as emissões de gases de efeito de estufa associadas à combustão. A tal ponto que, levado a sério pela política a nível mundial, foi então entendido na Conferência do Rio de 1992 que algo teria de mudar e daí surgiu o reconhecimento político das potencialidades do aproveitamento tecnológico da energia solar para produção de água quente e de eletricidade já sublinhadas na primeira Conferência Internacional sobre Energia Solar promovida, curiosamente, dir-se-ia, pela UNESCO, em Paris em 1973.

A essa altura remontam também os primeiros alertas no domínio da ‘política’ para um melhor e mais sistemático e consequente aproveitamento da energia solar pelos edifícios, abrigos milenares atualizados aos requisitos do conforto de hoje, mas, também, a um maior leque de tecnologias e valores culturais, ambientais e sociais do nosso tempo perante a identificação duma decisiva, maior e inesperada ameaça à escala do Planeta: alerta de efeitos de mudança climática.

Nas categorias ou designações acima, todas referidas à energia, seja qual for o seu estágio na natureza, no processo de transformação ou em estágio de disponibilidade junto do utilizador, ressalta ainda uma classificação genérica interiorizada pelos fornecedores de vetores energéticos ou energias finais:

- I. energia primária e
- II. energia final.

A Figura 6 representa um diagrama (designado de Sankey) em que se procura representar a evolução da energia na sua cadeia, da esquerda para a direita, por conversão desde as fontes naturais (energia primária) até à satisfação dos respetivos serviços prestados pela energia sob diversas formas (energia útil). Sabemos que qualquer produto natural é, em geral, sujeito a uma certa operação de ‘limpeza’ antes de ser usado, como, por exemplo,

a peneiração da farinha para o caso do ‘pão de cada dia’ a partir do grão moído, o que leva a que o peso da farinha seja menor do que o peso do grão que lhe deu origem. O mesmo se passa – perdoe-se a ingenuidade da comparação – com a eletricidade obtida de energias primárias tais como os combustíveis fósseis ou a biomassa. Passando pela via da combustão, o valor energético da eletricidade obtida a partir de determinado combustível é menor, por limitação fatal imposta pelas leis da Termodinâmica (Figura 6, seta menor a cinza-escuro). Não diminui a qualidade da energia. Antes pelo contrário, a qualidade até pode ser acrescida, mas reduz-se a quantidade por perdas na conversão de ‘energias primárias’ em ‘energias finais’ ou ‘vetores energéticos’ e, notavelmente, na conversão destes (seta maior a cinza-escuro) na generalidade dos múltiplos usos quotidianos também designados por ‘serviços de energia’ no dia-a-dia.

É então importante que, no contexto deste *vade-mécum*, que se deseja claro quanto ao sentido da valorização da energia limpa e acessível, atentemos demoradamente no diagrama de Sankey (Figura 6) que ilustra a situação dos fluxos energéticos para uma área urbana específica do nosso país num determinado momento histórico, partindo das energias primárias e usando os fatores de proporção/conversão nacionais.

Parte-se da energia primária/natural:

- por exemplo, hídrica, carvão, gás natural, biomassa, eólica, solar;
- para chegar à correspondente proporção nacional das energias finais (comerciais) necessárias, como:
- por exemplo, eletricidade, combustíveis líquidos, gás natural;
- e, finalmente, à proporção local da energia útil, tal como:
- iluminação, força motriz (transportes, máquinas em geral, outras); calor e frio (cozinha, conforto, etc.).

A partir daquelas formas de energia disponíveis na Natureza, fazem-se transformações por recurso à tecnologia, isto é, a equipamentos e máquinas tais como: turbinas hidráulicas, a gás ou a vapor e eólicas, caldeiras ou motores, etc. para a obtenção de eletricidade ou de combustíveis de perfil comercial (gasolina, gásóleo, etc.).

Ressalta na Figura 6 que, a partir do elenco de energias provenientes da Natureza (energia primária) foi possível, por conversão, produzir outras formas de energia (energia final) mais propícias à sua utilização pela sociedade:

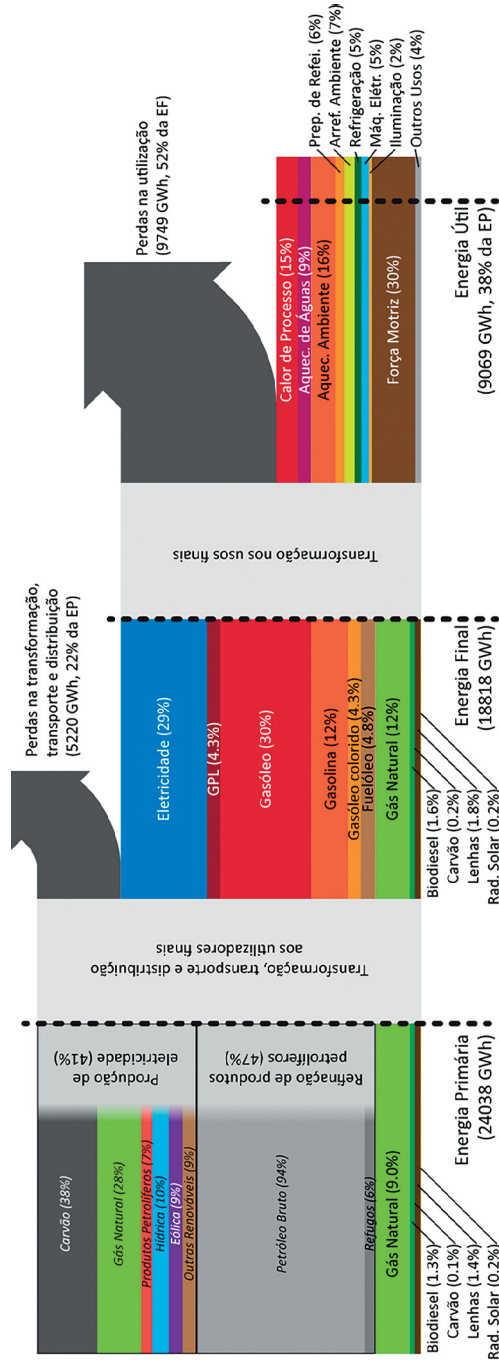


Figura 6 Representação em diagrama de Sankey dos fluxos de energia, desde o recurso primário à energia útil, para a Área Metropolitana do Porto (Municípios a norte do rio Douro) referente ao ano de 2009.

eletricidade, combustíveis para tração (mecânica) e para a energia calor, etc. E isto implicou mais de 20% de perdas (poluição atmosférica e ambiental, em geral).

Seguindo o diagrama da esquerda para a direita, do grupo da energia primária para o grupo da energia final, tem-se a eletricidade obtida, via combustão, a partir dos combustíveis (fuel, carvão, gás natural e biomassa) e do aproveitamento e conversão das fontes renováveis (hídrica, eólica, fotovoltaica). Note-se que uma parte do gás natural passa incólume para o uso direto como energia final, isto é, sem sofrer qualquer conversão energética e, como tal, passa de combustível primário a vetor energético final sem quaisquer perdas (a verde, no fundo do diagrama). Por seu lado os demais combustíveis (vermelhos e laranjas no diagrama), como sejam os rodoviários (gasóleo e gasolina), foram sujeitos a processos químicos nas refinarias que implicaram algumas perdas na conversão de energia primária em final e, naturalmente, a correspondente emissão de poluentes para a atmosfera.

Mas, entretanto, é na utilização da energia final para o suporte da miríade de usos impostos pela dinâmica do progresso tecnológico (energia útil) na vida quotidiana (cozinha, aquecimento ambiente, iluminação, telecomunicações, força motriz para a produção industrial e a mobilidade, etc.) que ressalta uma maior ineficiência associada aos processos de uso da energia.

É a energia dita final ou comercial, aquela a que o consumidor deverá mais facilmente recorrer e a cujas formas se chama também, correntemente, 'vetores energéticos', a saber, eletricidade, combustíveis líquidos ou gasosos, lenha, calor da radiação solar ou outra origem, conforme os casos.

Aqui as perdas, atentas as ineficiências dos motores automóveis e da miríade de equipamentos de conversão da energia, sobretudo a partir dos combustíveis (restrições termodinâmicas fatais), atingem mais de 50%. E assim, curiosamente, é ao nível do terceiro 'pacote' que se tem a maior 'fatia' de conversão dos combustíveis sólidos (carvão), líquidos (petróleo) e gasosos respetivamente em energia-calor e em energia de tração mecânica (eletricidade, combustíveis) com maior impacto a nível das emissões dos gases de efeito de estufa.

De notar que na Figura 6 no grupo das energias primárias não está contabilizada – o que é incorreto, diga-se – toda a energia disponível, desde a do Sol à dos seus derivados potenciais (vento, marés, declives, coberto florestal, etc.) e na parte contabilizável correspondente à área territorial a que respeita o diagrama e que assegura o quadro do ambiente habitável,

mas tão só a energia que tem já expressão tecnológica recente nas ditas ‘tecnologias solares’.

Entretanto, convém alertar para que ‘consumir energia’ é uma corruptela da ‘família’ do ‘produzir energia’ subentendendo-se, erradamente, eletricidade por energia, isto é, tomando-se esta pelo todo.

A energia, conforme se ilustra na Figura 6, mesmo quando é ‘usada’ para produzir um serviço, não se consome. Converte-se ou transforma-se. Na conversão de uma forma de energia noutra, a energia não se destrói. Esta está sempre lá embora em níveis diferenciados de qualidade. As perdas de energia são elas mesmas ‘energias de perdas’ (no atrito, na poluição, no calor de baixo valor energético, etc.). A energia apenas se transforma, mudando de natureza e de efeitos, naturalmente, em cascata descendente de ‘qualidade’, tendendo a converter-se numa forma final ‘degradada’, isto é, em calor de baixa temperatura. Para dar um exemplo, veja-se o que acontece com os travões de um camião na descida de uma autoestrada: parte da energia do combustível torna-se calor no motor e, esta transforma-se em energia mecânica que, por sua vez, é, em parte, transformada em calor no atrito dos travões. Mas, nenhuma energia foi destruída: toda continuou a existir, sob diversas formas (1.º Princípio da Termodinâmica), umas mais nobres que outras, isto é, com mais ou menos potencial de ainda poderem voltar a ser úteis. Grande parte da energia perdida converteu-se em calor. Daí a sensibilidade a ter nas travagens de grandes veículos em descidas muito extensas e íngremes.

2.2. Conceito de ‘Sistema’

O que se deixa acima deverá estar presente quando se quer entender o que é um ‘edifício de elevado perfil ambiental’. Mas, para isso é relevante avançar-se ainda, com um outro conceito essencial que é o que em Física, ou no seu capítulo crítico nestes domínios, isto é, em Termodinâmica – uma disciplina central do conhecimento científico – se entende por ‘sistema’, conceito sem o qual não seria fácil o propósito deste *vade-mécum* que, sucintamente, se fixa no objetivo de produzir um edifício de elevado perfil ambiental, nomeadamente, através da identificação das energias mais adequadas e da quantificação dos valores-objetivo dessas energias a serem usadas pelo ‘edifício-sistema energético’ que nos motiva.

Em termos da Física, sistema é uma qualquer parte do Universo que possa ser identificada através de uma fronteira, seja ela fechada ou aberta. Assim, um sistema tanto pode ser um edifício como, até, uma paramécia, isto é,

como esta última, um mero ser vivo unicelular. Qualquer um deles podendo reunir vários outros sistemas ou subsistemas. Sem prejuízo de regressar a este assunto quando da abordagem do tema do conforto, fixemo-nos no esquema da Figura 7 que suporta a definição:

Sistema é uma quantidade de matéria ou região do espaço sob estudo delimitada por uma fronteira (identificada a tracejado na figura). A fronteira pode ainda ser aberta ou fechada, isto é, pode ser ou não atravessada por trocas de massa com o exterior 'do' ou 'para' o sistema.

Então, um edifício é um sistema aberto, com uma fronteira com o exterior, normalmente, definida pela sua envolvente física. Como tal, qualquer edifício apresenta tanto trocas de ar com o exterior, queridas ou não (infiltrações, ventilação, extração), como também trocas de energia/calor, quer radiativas (como ganhos de radiação solar direta pelos vãos envidraçados ou perdas de calor através dos envidraçados), quer de transmissão/condução de calor pelas paredes envolvente (ganhos e perdas) quer, ainda, pela electricidade que chega por cabos ou outra energia veiculada via fluido quente (ar, água, ...) ou gás natural que chega por tubagens ou botijas.

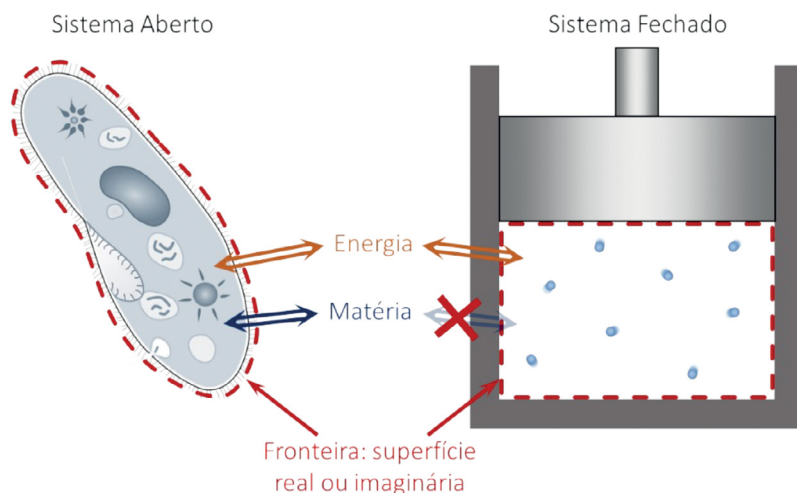


Figura 7 Os sistemas, definidos e delimitados por uma superfície fronteira, podem ser abertos (esquerda, exemplo de uma paramécia) ou fechados (direita, volume interno definido por um cilindro e pistão). Em ambos os casos podem ocorrer trocas de energia, mas só num sistema aberto podem ocorrer trocas de matéria⁵.

⁵ Existe ainda um terceiro caso em que não podem ocorrer trocas de energia ou matéria, o que define um sistema isolado. Na prática, não existem sistemas verdadeiramente isolados no Universo.

Ressalta assim a nobreza de um edifício enquanto sistema energético, ele próprio, que capta e gere diretamente a energia do Sol e do ambiente exterior enquanto planeado como sistema operacional para a acomodação do conforto da família ou de um qualquer exercício ou função no interior do edifício.

E é na promoção da excelência do edifício como sistema energético/ambiental que se centra o objetivo deste texto, dando de barato que a perseguição de tal perspectiva contribuirá quanto possível para a finalidade última do próprio edifício sem 'add on's' energéticos complementares que não os reconhecidos como estritamente necessários e em proporções éticas no que toca ao uso da energia.

2.3. Escalas de Impacto Energético-Ambiental

Quando falamos de ambiente temos em geral uma ideia positiva. E isso é bom. Qualquer que seja o entendimento, o ambiente para o objeto 'edifício' constitui, por um lado, uma envolvimento a uma escala acima da escala do edifício, mesmo sem que, necessariamente, perca a escala humana (que é aquilo a que o Arquiteto Gonçalo Ribeiro Teles preferia chamar a 'paisagem'); e, por outro lado, um ambiente interior que cada edifício deve garantir como sendo propiciador de condições de saúde e de conforto ou bem-estar, este sendo parte daquelas.

Quanto ao ambiente exterior do edifício podemos, por um lado, ter o ambiente urbano, envolvente ambiental onde existem atividades terciárias variadas e sujeitas a planos vários do foro da urbanização e, por outro, ter o ambiente rural, em graus muito diversificados de região para região e de clima para clima, entre os quais outros mais sofisticados como certos parques ou espaços classificados cuja gestão é assegurada pela tutela ambiental. Uns e outros devem também dispor de planos a vários níveis procurando disciplinar todo o tipo de intervenções no território desde as infraestruturas, novas áreas urbanas ou simples planeamentos/gestões rural, agrícola ou florestal.

Portugal tem 'parques nacionais' (do Gerês e nas ilhas), 'parques naturais' (Serra da Estrela, Ria Formosa, Montesinho e outros) e outras áreas protegidas, na ordem de 10% da área do território nacional⁶. Mas todo o território deve estar sujeito a preocupações ambientais sem prejuízo de serem

⁶ No seu conjunto a Rede Nacional de Áreas Protegidas ocupa, no continente, uma área de 799 mil hectares, contabilizando uma área marinha de 54 mil hectares. A área terrestre representa cerca de 8% da área do continente. Fonte: <https://rea.apambiente.pt>.

proporcionadas áreas para a produção agrícola e florestal, a pastorícia, a habitação, o lazer e, mesmo, os espaços porventura ambientalmente mais agressivos nos nossos dias que serão os da expansão urbana e, ainda, mais difícil, porventura, os periurbanos (Figura 8).



Figura 8 As múltiplas escalas do ambiente que rodeiam cada indivíduo, mas do qual este faz parte, e que compõem o agregado de sistemas energéticos, físicos, químicos e biológicos que constituem o planeta Terra.

Cabe aqui deixar a este propósito uma palavra de alerta citando a autoridade do Professor Arquiteto Nuno Portas, entre outros, quando escreve que há 'situações territoriais que não têm ocupado o lugar que merecem nas agendas políticas, quer locais, quer nacionais'.

E assim, se deixa acima uma série de escalas de putativa intervenção ou ação no território e, desde logo, sem que se deixem de lado as grandes infraestruturas rodoviárias, ferroviárias, urbanas e industriais, com impacto na paisagem, no ruído, na poluição hídrica ou do ar (a jusante dos ventos), ressaltando em muitos casos a paisagem mais ou menos frágil porque sujeita à pobreza dos solos, sem expressão para produção agrícola rentável, e ao impacto de grandes projetos, por vezes sem alma mas, também, ao edificado que no nosso país aparece distribuído como se tivesse sido semeado em noite de vendaval, com implicações gravosas nos custos das infraestruturas de acesso e na paisagem, para além de fragilidades por demais evidentes face às intempéries, fogos florestais, etc..

É neste quadro algo simplista que emerge a responsabilidade de quem possui um edifício de elevado perfil ambiental, isto é, um edifício de elevada

responsabilidade ambiental nos três planos ou âmbitos que serão identificados a seguir: global, ao nível do planeta; nacional/regional/local, em sintonia com as políticas nacionais/regionais e valores locais; e, interior, onde se vive grande parte da vida de cada um, ao nível de cada edifício, em sintonia com os desígnios de saúde e conforto dos ocupantes.

Aqui chegados, enquanto interessados na excelência da seleção e gestão dos lugares e das tipologias dos edifícios sem afetar descuidadamente o ambiente pré-existente, produtivo, em repouso, ou com outros objetivos de utilização, ressalta uma necessidade preventiva e ponderada nem sempre praticada quanto á definição das potencialidades, das opções e das expectativas de sucesso das utilizações das partes de território em questão que porventura venham a ser adotadas e/ou reutilizadas.

2.3.1. Ambiente Global

Neste contexto específico da relação determinante do edifício de elevada performance ambiental com a sustentabilidade e o ambiente global, é necessário ser-se muito claro e procurar assegurar e reforçar o rigor da linguagem.

Os edifícios constam das estatísticas da utilização da energia como constituindo o segundo setor mais 'energívoro' da generalidade dos países da UE, incluindo Portugal, logo a seguir aos transportes, o que mostra que os edifícios estão claramente entre as causas dominantes das alterações climáticas (ver cap. 3).

Ora se os veículos e os transportes, em geral, têm estado sempre sujeitos à dinâmica comercial do mercado global cujos parâmetros críticos são praticamente independentes do lugar (consumos, capacidade, velocidade, segurança, conforto, preço, etc.), já os edifícios, pelo seu lado, foram ao longo do tempo particularmente marcados pela influência do clima e do binómio conforto/saúde, isto é, por necessidades de aquecimento/arrefecimento ou de sombreamento e mesmo, necessidade de fazer face a temperaturas extremas e a humidades relativas muito elevadas, etc..

É, pois, importante sublinhar, novamente, que os edifícios têm uma característica física de identificação com o local e o território pelo que, mesmo no contexto do urbano, não deverão ser desligados do local e do seu clima ou microclima.

O facto é que, quer por via das necessidades de recursos energéticos na construção e operação dos edifícios, quer pelos materiais de construção neles

usados, as emissões de gases com efeito de estufa associados ao parque edificado nacional são muito significativas e de difícil retificação, dado que as suas taxas de renovação rondam geralmente os 1 a 2% anuais. Um edifício, de elevado perfil ambiental ou não, tem um tempo de vida geralmente longo (entre 50 e 100 anos) e como tal quaisquer aspetos que não tenham sido adequadamente tratados logo no projeto, tenderão a surtir efeitos ambientais porventura nefastos, durante todo esse tempo. E, aqui, diga-se que há que assegurar que os edifícios sejam mais confortáveis, mas definitivamente, desde que não à custa de energia adicionada, em particular se for energia de natureza poluente, mas, ao contrário, à custa das suas próprias forma e física das construções como sistema 'no' e 'parte do' ambiente em que se insere e com que é chamado a dialogar, incluindo o ambiente global. Daí que as diretivas europeias mais relevantes, como a do Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) (Parlamento Europeu e do Conselho, 2010) e a da Eficiência Energética (EED) (Parlamento Europeu e do Conselho, 2012)⁷ venham procurar promover ações no sentido de reduzir dramaticamente a dependência energética dos edifícios e dos sistemas que lhes estão associados. Infelizmente os textos destes documentos padecem de uma certa miopia, lamentável e condenável mesmo, face à diversidade das realidades climáticas e culturais na Europa (com particular impacto desfavorável para os países da orla Mediterrânica cujos climas diferem dos da maioria do Centro/Norte Europeu que acabam por ter mais influência naqueles textos mas, também, de uma aparente ingenuidade quanto às leituras distorcidas, mas ainda assim válidas, que desses textos podem ser feitas, nomeadamente ao nível das prioridades de ação e da importância relativa entre suficiência e eficiência energéticas – ver adiante cap. 2.5.

O certo é que, na perspetiva da ação futura, abre-se hoje às expansões urbanas habitacionais e outras, existentes e futuras, incluindo as reabilitações, um grande potencial no que respeita à salvaguarda das condições de saúde e de conforto nos edifícios com baixo uso de energia para assim promover a sustentabilidade ambiental (sempre na perspetiva/referência do ambiente global), a qual não é de modo nenhum imaginável que seja possível desaproveitar em termos da exploração das oportunidades conceptuais e técnicas oferecidas pelo respeito da ordem hierárquica dos objetivos energéticos, a respeitar sequencialmente nas intervenções a promover no futuro, a saber: suficiência energética (i.e., a qualidade do edifício em si enquanto sistema energético à luz do que aqui se deixa), eficiência energética (i.e., os equipamentos, então correta e ajustadamente

⁷ Entretanto já sujeitas a várias revisões e atualizações.

dimensionados, devem cumprir a sua função com recurso a mínimos de energia para um 'serviço' identificado) e, origem em fontes renováveis de energia (i.e. a energia adicional que venha a ser eventualmente necessária deve quanto possível provir de fontes renováveis, de proximidade ou não)⁸. E, assim, se deve assegurar a valorização do papel responsável, solidário e social dos atores, a saber, projetistas, construtores, promotores e adquirentes, face aos recursos naturais, como deve ser apanágio de um E^2PA .

Um tal edifício poderá então ser dito um edifício 'sustentável' no sentido em que, no que lhe respeita, será diminuta ou nula a sua contribuição para o aquecimento global por não ter responsabilidade nas emissões de CO₂, diretas ou indiretas, estas que são causa dominante do aquecimento global.

Mas, em rigor, a exigência E^2PA não deveria ficar só por aqui, isto é, apenas centrada na valorização mais sofisticada dos serviços de energia que compramos ou que instalamos em complemento. É preciso ainda ter presente que cada material ou objeto e, conseqüentemente, cada casa, tem a sua parte de energia embebida resultante do seu processamento desde a matéria-prima até ao produto final e isso tornará imperativo avaliar, ainda que de forma comparativa/relativa e não necessariamente quantitativa, o *input* de CO₂ e outros impactos ambientais ao longo da vida desses materiais, componentes ou equipamentos, tendo em conta os seus transportes e das pessoas para e da obra, etc. Esta contabilidade, que comumente se designa de análise de ciclo de vida (ou *life-cycle analysis*, LCA), deverá ser feita com todo o rigor possível almejando-se reduzir os impactos ambientais indiretos incorporados nesses mesmos materiais e fluxos de matérias e pessoas.

⁸ Recentes desenvolvimentos expressos em diretivas europeias e regulamentos vêm promovendo cada vez mais soluções de aproveitamento de fontes renováveis de energia na proximidade ao local de uso, ditas descentralizadas. Na sua forma mais simples, a própria legislação portuguesa tem obrigado a que em novos edifícios se implemente o aproveitamento de um mínimo dos recursos solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias (que pode ser substituída total ou parcialmente por outras formas renováveis de proximidade, como biomassa, solar fotovoltaico, bombas de calor, eólica, etc.). Em 2021 o Regulamento n.º373/2021 definiu as regras do novo regime do autoconsumo e das comunidades de energia renovável, que vem reconhecer e valorizar soluções comunitárias, em que o aproveitamento não se faça só ao nível de cada residência, mas sim num conjunto mais alargado de edifícios. Este tipo de conceção é ainda raro em Portugal, enfrentando a cultura pouco gregária e que se refugia num certo isolamento, autonomia e independência. Noutros países europeus as soluções de redes de calor e outros sistemas de produção e distribuição local de calor deixaram já um legado cultural de abertura a este tipo de soluções integradas ao nível do bairro ou quarteirão. De todo o modo, dada a maior flexibilidade do vetor eletricidade quando comparada à do calor, antecipa-se que, mesmo em Portugal, se venha a assistir mais alargadamente ao surgimento de soluções de comunidades de energia que possam contribuir para as contabilidades dos rácios de energia usada no edifício versus a energia renovável de proximidade que virão a fazer parte das exigências regulamentares num futuro próximo. E se a iniciativa emerge no sentido 'bottom-up' é urgente experienciar a dinâmica – até agora nula ou quase – das autarquias.

Este tipo de avaliação de impacto ambiental considerando todo o processo produtivo desde a matéria-prima até ao período de utilização e ao processo de fim-de-vida é comum ao nível das empresas com investigação, inovação e desenvolvimento de produtos e serviços que se preocupem com os aspetos ambientais, existindo para isso o standard ISO 14000 (em particular do ISO 14040 e ISO 14044) que estabelece metodologias de cálculo. Estas servem de base aos relatórios de sustentabilidade que empresas com uma certa dimensão devem publicar anualmente. Existem para isso profissionais especializados e departamentos dentro dessas empresas que se encarregam de compilar toda a informação necessária e acompanhar o desempenho ambiental das operações da empresa e, assim, registar os impactos que os seus produtos e serviços levam embebidos quando saem da unidade de produção. Naturalmente, isto também se aplica à energia. Pense-se na eletricidade que usamos feita de carvão, energia hídrica ou de outra qualquer origem.

Em paralelo aos relatórios anuais de sustentabilidade das empresas, há também já um acervo relativamente vasto de publicações científicas, quer *'peer-reviewed'*, quer sob a forma de teses académicas de mestrado e doutoramento, em que se descrevem análises de ciclo-de-vida de inúmeros materiais e processos. Uma pesquisa na internet por "análise ciclo vida" ou *"life cycle analysis"* ou ainda "LCA" adicionando à pesquisa o material ou elemento construtivo pretendido, resulta num número alargado de publicações e fontes de informação relevante (pelo menos para os materiais mais comuns, como cimento, ferro, tijolo, etc.).

Contudo, a forma atualmente mais detalhada de estimar o impacto de ciclo-de-vida de um qualquer produto ou processo recorre a software próprio para esse efeito, como por exemplo o OpenLCA⁹, permitindo modelar e alocar os inúmeros contributos de matérias-primas, processos e formas de energia. Este software recorre a um conjunto de bases de dados de materiais, processos e formas de energia já previamente avaliadas e validadas em termos de ciclo-de-vida, como por exemplo a *European Life Cycle Database*¹⁰ estabelecida pelo *Joint-Research Center* (instituição da União Europeia), que compila informação particularmente relevante para a região europeia.

Dito isto, apesar de constituir a melhor forma de cálculo, a precisão das estimativas conseguidas por esta via é ainda questionada e as próprias

9 Disponível gratuitamente em <http://www.openlca.org/>

10 Disponível em <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/>, mas preferencialmente acedida via software próprio, como o OpenLCA referido.

metodologias de análise de ciclo-de-vida têm sido alvo de críticas. Tal, porém, não deve justificar que se desista da exploração dessa e de outras pistas afins.

As duas principais dificuldades apontadas pelos críticos prendem-se, por um lado, com a definição dos limites do sistema quantificado (isto é, o que é considerado como fonte relevante de impacto ambiental imputável), e, por outro lado, com a fiabilidade da informação disponível (particularmente devido à natureza dinâmica, sensibilidade regional e evolução temporal das variáveis envolvidas nos cálculos). Apesar disso, estas limitações não devem servir como desculpa para ignorar toda a questão do impacto ambiental. Se, por um lado, uma análise quantitativa detalhada, usando o software acima, para todo e qualquer E^2PA , dificilmente se justificará face à dificuldade e aos custos que lhe estariam subjacentes (particularmente se vista à luz de uma imprecisão significativa e, portanto, questionável, quanto aos resultados), há todo um conjunto de opções e decisões que devem ser consideradas de forma informada, ainda que qualitativa ou comparativa. Assim, sempre que possível, devem aproveitar-se todas e quaisquer oportunidades razoáveis para reduzir o impacto ambiental associado a um E^2PA e o resultado de um tal exercício deverá resultar numa priorização aos recursos, fabricantes, distribuidores e trabalhadores locais, admitindo-se, desde logo, que não se pode reduzir esse impacto a zero, mas que todo o contributo para a sua redução será relevante. Por exemplo, numa situação em que duas equipas possam ser chamadas à execução de uma determinada obra, aquela equipa que, em média, se situe mais próxima deve ser preferida. O mesmo se pode dizer face aos fornecedores de materiais, preferindo-se reduzir as distâncias de transporte destes para as obras, ou preferindo aqueles que recorram a matérias-primas locais. Deve também priorizar-se a redução da quantidade de materiais, particularmente os de elevado impacto ambiental incorporado, projetando as estruturas e elementos construtivos com vista à minimização das massas necessárias (por exemplo, se uma parede puder ser estruturada devidamente com 10 cm de espessura de betão, então não se deve construir com mais).

A dificuldade técnica em dar uma resposta efetiva nestas frentes pode também constituir uma oportunidade de diferenciação no mercado dos edifícios, através da constituição gradual de bases de dados e inventários próprios com informação ambiental sobre os produtos e fornecedores desde logo recomendáveis nos projetos. Esta possibilidade é potenciada pelo facto de um edifício, por complexo que seja, tender a recorrer consistentemente a determinadas soluções cujo impacto ambiental tenderá a alterar-se modestamente ao longo do tempo.

Antecipa-se então que se possa inclusivamente constituir uma metodologia de cálculo de ciclo de vida simplificada para o tipo de projeto e realidade local que constitua o mercado, no sentido de simplificar e acelerar o cálculo quantitativo do impacto de ciclo de vida dos seus projetos para que possa então passar a fazer parte dos argumentos comerciais associados.

Dir-se-ia que, uma vez satisfeitas as condições energéticas referidas acima, as questões ligadas à energia embebida nos materiais seriam coisa menor. Porventura, como se sugere, isso poderá ser possível em termos quantitativos, mas nunca se chegará a um E^2PA sem ter todo esse balanço estabelecido com rigor de cálculo e sentido de ética.

2.3.2. Ambiente Local

Está claro que a condição da satisfação das exigências do ambiente global (emissões de CO_2) deverá estar bem expressa no projeto, até porque se afigura genericamente alcançável através de uma adequada arquitetura que respeite as condições que lhe competem para minimizar o fator de crescimento das emissões de CO_2 e reduzir até ao eventual não uso, os combustíveis fósseis e seus derivados. E, claro, do mesmo passo, que também esteja assegurada uma interação positiva do objeto edificado com o ambiente de proximidade pela eliminação quanto possível da emissão de gases tóxicos, de partículas poluentes e de ruído.

Coloca-se aqui uma questão relevante relativamente às condicionantes pré-existentes de caráter ambiental, histórico, arquitetónico ou pura e simplesmente urbanístico. Fixando-nos neste caso específico, porventura o mais corrente, há que alertar ainda para a necessidade imperiosa de garantir que qualquer urbanização proporcione o melhor uso do Sol tendo em conta as potenciais utilizações dos edifícios a construir ou reabilitar. E, do mesmo passo, assegurar que a ambição de desempenho de um edifício E^2PA possa refletir as consequências das limitações das condições impostas pela urbanização ou pela localização na urbanização, com as correspondentes consequências de desempenho e, obviamente, de mercado.

Então, estando a questão do ambiente local do edifício já em grande parte resolvida quando for dada resposta à exigência do respeito pela sustentabilidade global, há que ter presente, uma vez mais pela via da arquitetura, a exigência desta em termos das suas dimensões e da posição/orientação no lote de terreno que irá ocupar. O edifício deverá, pois, responder igualmente aos valores do ambiente local, tendo em conta as exigências dos

valores/regras do paisagismo, do urbanismo, da arborização, dos odores, das partículas, etc., antecipando o espectro de aspetos ambientais associados aos usos e ao comportamento dos futuros utilizadores do edifício tais como ruídos nos acessos de veículos com manobras difíceis, em piscinas ou em 'courts' ou com população jovem ou fumos de 'picnics' mas, também, por arborização desadequada, gestão de regas e de resíduos, etc. Em todo o caso, há que evitar que o edifício, que se deseja que responda positivamente às condicionantes do clima do planeta e aos seus objetivos de sustentabilidade global, não surja como um abcesso ambiental na área da sua localização. A este respeito os tipos de jardinagem, de rega, de uso dos resíduos (compostagem) etc. devem poder ser definidos e/ou balizados e rigorosamente respeitados.

Ao referirem-se as condições locais há que ter em conta que estas podem afetar de modo significativo o microclima do lugar e, com isso, as condições de conforto higrotérmico através de elementos cujas natureza e localização não hajam sido suficientemente ponderadas tais como árvores muito frondosas e sombreamentos persistentes das construções, microclimas húmidos ou particularmente ventosos, etc. Daí que o conhecimento dos ventos assim como dos potenciais sombreamentos deva ser ponderado desde a fase do estudo prévio, seja pelo desenho, nomeadamente, pelas cêrceas, orientações e aberturas, seja pela análise da arborização circundante.

Em suma, tendo presente que o projeto do edifício parte naturalmente da identificação das suas funções, mas, também, da antevisão do seu impacto no ambiente/lugar, pela sua implantação no terreno com a sua forma física, envolvente e paisagem específicas, pela arquitetura e tipologias das peças resistentes, etc., todas as questões deverão ser abordadas e decididas numa primeira aproximação com referência ao critério da sustentabilidade: primeiro, a sustentabilidade global, pela via da energia conveniente; mas, também, a seguir, a valorização da realidade ambiental holística local, refletida num conceito que permanece válido mesmo se menos referido e que é o da *pegada ecológica* que reflete outro valor essencial que é o da capacidade de produção (área do solo produtivo, água existente vs. necessária, uso de pesticidas, etc.).

Outra questão é a participação no ciclo dos produtos, desde logo dos usados na estrutura, mas também nos acabamentos e na exploração/uso dos edifícios tendo em atenção os materiais de limpeza, a gestão dos resíduos e da água e do ar.

2.3.3. Ambiente Interior

Já se deixou acima um vasto elenco de conceitos e de estratégias, métodos e ferramentas de abordagem que valorizam e permitem dar expressão ao invocado cuidado a ter no projeto de um qualquer edifício e, muito mais, de um edifício com elevado perfil ambiental, ou seja, que é sustentável no sentido do seu contributo para a sustentabilidade global, ou seja, saudável (ar, humidade, acústica, luz, ruído,...); confortável (conforto térmico adaptativo, luz natural vertical e zenital, circulação do ar, sombreamentos, inércia térmica, segurança,...); e, de utilização racional, isto é, *friendly & soft*, por meios de controlos eletrónicos simples e racionais ainda que sem prejuízo de propiciar a experiência, sempre que possível ou desejada, da gestão natural/pessoal em moldes a indicar neste *vade-mécum*.

O problema do ar, por ser este um elemento natural muito próximo, vê-se, por vezes, menos valorizado no seu contributo para a saúde e para o conforto. Não obstante, tendo vindo a ser objeto do interesse da OMS desde os anos 80 e de numerosos estudos de investigação promovidos pela CE desde os anos 90, é possível dispor hoje de uma matriz de 'guidelines' de referência que permite dimensionar uma excelente gestão do ar sem recorrer a excessos de ventilação (ver cap. 6.1), como vai infelizmente sendo ainda corrente em Portugal, e a consequentes sobrecustos em aquecimento e/ou arrefecimento dos caudais de ar limpo introduzido no interior, como na movimentação e tratamento do ar. Para isso, facilitar-se-á também a suficiência energética cuidando da qualidade ambiental dos materiais, tintas, colas, revestimentos, produtos, hoje, cada vez mais com as suas emissões certificadas ou certificáveis no mercado¹¹, o que garante que poderá haver menos fontes de

11 As metodologias de determinação de emissões poluentes, particularmente de compostos orgânicos voláteis em produtos de construção e consumo, cabem, atualmente, no âmbito de standards como o ISO 16000 e outros equivalentes a nível mundial. A definição destes standards veio permitir, principalmente na última década, o surgimento de um número alargado de sistemas de certificação de produtos, muitos deles específicos em determinados países, mas cujos resultados são genericamente válidos e comparáveis entre si. Desde logo a marcação CE inclui já atualmente critérios de avaliação de cumprimento de requisitos mínimos, incluindo alguns para emissões poluentes, e é aplicável (via Regulação dos Produtos de Construção, CPR n.305/2011) a uma parte significativa de materiais e produtos de construção comercializáveis no espaço europeu. Adicionalmente, tanto para produtos de construção quanto de consumo, há uma panóplia de certificações, algumas obrigatórias em determinadas regiões e outras voluntárias, que oferecem uma camada adicional de verificação e certificação dos potenciais impactos que estes produtos podem ter ao nível da qualidade do ar interior e da saúde dos ocupantes. O Ecolabel é uma dessas certificações (ec.europa.eu/environment/ecolabel) e agrega um conjunto alargado de sistemas nacionais de certificação que foram harmonizados. Adicionalmente há também o EMICODE (www.emicode.com), o True AIR (www.bureauveritas.com/trueair), a GreenGuard (www.greenguard.org), a CRI (www.carpet-rug.org), ou ainda a TÜV-Proficert (www.proficert.de) que certificam diversas classes de produtos de acordo com metodologias quer oficiais nacionais quer próprias.

poluição e/ou fontes de menor intensidade no interior e que, consequentemente, os edifícios poderão requerer menores caudais de ar para diluir a poluição do ar interior, ou seja, precisar de menos ventilação. Também nesta frente, tal como se propõe para os impactos ambientais de ciclo-de-vida, recomenda-se que as empresas envolvidas no desenho, conceção e construção constituam gradualmente um inventário, atualizado regularmente, de produtos e fornecedores que apresentem bons desempenhos ao nível das emissões poluentes, independentemente do sistema de certificação a que recorram, para implementação preferencial em projetos e obras, mas também na exploração/uso dos edifícios (produtos de limpeza, 'aromatizadores', etc.).

2.4. Corruptelas sobre a Energia nas Mensagens Oficiais e Oficiosas

No quadro que se pretende oferecer com este *vade-mécum*, é mister clarificar o que está em causa, bem como a sua correta nomenclatura, já que o diálogo pressupõe que cada parte esteja de posse dos mesmos vocabulários e respetivos valores sob pena de se cair na esparrela do 'diálogo de surdos' tão frequente na coisa pública em que a surdez até nem será 'má-fé', mas, antes, ignorância ou inconfessado interesse ou desinteresse.

Há áreas do conhecimento de cada um que, perante intervenções de terceiros, nomeadamente, da parte da comunicação social, não deixam de chocar pela sua imprecisão ou falta de adequação ou adesão ao rigor. E se a linguagem corrente não é de rigor, como o poderá ser a decisão e/ou a ação e, antes disso, a própria comunicação, a sua perceção e aceitação?

Num período de transição energética de vertentes assaz dramáticas como o atual, já que está em causa a sustentabilidade global, continua-se com uma linguagem demasiado primária por parte de políticos, atores dos setores da construção e do imobiliário, e especialistas da climatização bem como da incompreensivelmente descuidada comunicação social, em que os veículos têm todos uma linguagem pouco rigorosa, desde logo, a falarem em 'produzir energia' coisa que não é correta porque tal não existe uma vez que a energia não se produz. Produz-se calor e produz-se eletricidade, etc., a partir de outras energias, mas como se clarificou atrás (ver cap. 2.2), a energia '*tout court*' não se produz.

E há que atender ainda a conceitos e expressões aplicadas à arquitetura e aos edifícios, trivializadas com rótulos tais como: 'verde', 'bioclimática', 'passiva', 'ecológica', 'solar', 'sustentável' e, mais recentemente, '*smart*', circunstancial mas certamente a menos inteligente e, ainda, '*energy efficient*', a menos clara, porque transfere o ónus do edifício para os equipamentos qualquer que seja a arquitetura e a física do edifício e a aptidão deste para a suficiência energética, isto é, indiferente ao efeito no bem estar e no conforto.

Na Primavera de 2017 as autoridades inglesas anunciaram que havia no Reino Unido 25 milhões de lares (*homes*) a isolar termicamente (suficiência!). Pela mesma altura, o governante do pelouro da energia em Portugal anunciava que havia 30 milhões para investir na eficiência energética dos edifícios em Portugal. Enquanto o Reino Unido começaria pela suficiência energética o Governo Português escolhe a eficiência energética seguindo o método usado para as escolas da famigerada Parque Escolar, que entendeu promover escolas onde se impossibilita a abertura das janelas para não prejudicar (!) a eficiência do equipamento do ar condicionado. Como é possível? Perante o 'bónus' da tecnologia apoiada por incentivos do Governo ou da CE, os edifícios na sua arquitetura parecem não só não contar para o objetivo último de serem espaços de conforto-saúde que favoreçam a aprendizagem, como são sacrificados na sua eficácia em termos de saúde, antes mesmo do apelo ao seu desempenho energético enquanto sistema energético, ele próprio, por si, sem os equipamentos, por não ser prevista a abertura das janelas. É o Mundo '*upside down*' do Portugal inculto e... sem ética profissional nem política onde há faltosos a mais, ainda que discretos.

A energia para o conforto num ambiente/espaço interior de um dado edifício será um 'asset' deste enquanto contributo positivo quando o edifício tenha recebido ao longo de determinado período e armazenado nas massas interiores (paredes, pavimento) mais calor proveniente da radiação solar do que aquele que cedeu ao exterior, e também quando, embora não sendo suficiente a massa térmica para embeber tanta energia, a temperatura do ar que está a entrar é suficientemente elevada para o conforto sem atingir o patamar do desconforto.

Quando na conta bancária de cada cidadão há uma receita (vencimento, por exemplo) seguida de uma série de despesas, o balanço zero não significa que os recursos hajam sido zero. Na realidade houve, em termos económicos, dois fluxos valorizados no PIB, ambos positivos para a comunidade: o do recebimento e o da despesa, por mais fracionados que fossem um e



Figura 9 Edifício da Parque escolar em Santa Marinha do Zêzere (Baião) – Excesso de vidro sem sombreamento exterior, o que significa calor no interior sem meios de ser condicionado.

outro. O mérito desse exercício financeiro de trocas não é que o balanço seja zero, mas sim que a movimentação desses recursos haja remunerado esforços produtivos, isto é, haja uma mais-valia. Este pode ser melhorado com a redução do que se gasta ou com o aumento do que se recebe. No caso do edifício têm-se também dois atos que nada têm a ver um com o outro. O utilizador pode sempre conduzir as coisas quanto possível para que o ‘calor’ possa entrar e compense a falta do calor que se perde pela ‘envolvente’. E só no caso em que haja défice de calor se justifica solicitar o suporte de um equipamento ou sistema ‘exógeno’ complementar de aquecimento. Mas um certo nível de armazenamento do calor na massa térmica interior pode ajudar a superar isso, isto é, a reduzir parte das necessidades de aquecimento para o conforto.

No quadro dum modelo ingénuo como o acima, que procura ilustrar a problemática dos ganhos e perdas de calor de um edifício com o ambiente exterior que o envolve, a Comissão Europeia tem vindo aqui e ali a exercer uma certa ‘colonização’ tecnológica de contabilidade energética errónea, como a de adotar a designação de ‘NZEB’ ou seja, em português, ‘edifício de balanço energético (quase) nulo’ o que é tudo menos esclarecedor da realidade - e que só demonstra que a Comissão Europeia está longe de ser divina, não direi em poder, mas em conhecimento - como veremos adiante acerca do desempenho do edifício, ou promovendo documentos próprios

com títulos inimagináveis como *'Energy Efficiency in Buildings and Heat Retention'*, tal e qual, como se a retenção do calor no Verão fosse um objetivo dos países comunitários do Sul da Europa, como é o caso de Portugal, mesmo que não tenha propriamente um clima mediterrânico. Assim, não. Qualquer ética do consumidor condenaria esta propensão para rotulagem enganosa que não significa má-fé, mas ilustra ignorância ou insuficiente ou deficiente conhecimento posto ao serviço desta matéria. Entretanto, tal é particularmente relevante para o caso de Portugal, dado que o nosso clima é assaz moderado na estação fria e isso pode sugerir soluções que, longe de resolverem cabalmente o problema do conforto térmico no interior dos edifícios, podem acomodar soluções de proximidade que podem ser muito úteis em casos de utilizadores de baixos recursos financeiros. Esta é uma possibilidade muito acessível desde que haja vontade, educação e disciplina operativa. Infelizmente é lamentável, mas tendo sido um de nós, duas vezes membro do Governo nas áreas da energia-ambiente, continua-se a perguntar que 'mapa' têm ministérios como o do Ambiente e o da Energia?

Entretanto, há não muito tempo um professor de uma Universidade portuguesa declarava e fazia título numa publicação portuguesa da especialidade que 'Portugal tem défice de climatização'. Tal qual. Mas que isso é revelador de uma abordagem questionável nem sequer se nota no meio de tão dramáticos e inaceitáveis casos de incúria de equivalente natureza tais como incêndios nas florestas, legionella nos próprios hospitais, etc., etc. e, claro, um departamento governamental da energia e outro do ambiente 'ausentes' e 'indiferentes' nas três interfaces energia-saúde-ambiente.

A temática suscitada acima justifica-se ainda face à terminologia da CE, curiosamente, articulada com a EPA (USA). Estas entidades adotaram a designação *'nzeb'*, isto é, *'nearly zero energy building'* para designar edifícios que, convertendo energia solar (ou outra) em eletricidade no perímetro da propriedade do promotor, com essa energia recebida no telhado balançam ou quase balançam a energia usada no edifício. Só que 'em energia não há somas nulas'. E se os painéis de PV ou a ventoinha eólica estiverem no quintal nem se percebe por que razão deva aquela vantagem de compensação ser invocada como mérito do próprio edifício. Aliás, a prática é, infelizmente, até contraproducente. Com efeito, os promotores das muitas casas que já hoje no nosso país ensaiam aquela dupla intervenção na lógica da qualificação *'nzeb'* poderão nem sequer se ter preocupado com o adequado isolamento da casa, quando deveriam ter começado por aí a adequada melhoria do seu desempenho térmico.

Ora, se a energia usada numa casa com sub-desempenho térmico fosse compensada com energia produzida em equipamentos solares autónomos no telhado, isso poderia até ser lido como fraude porque, apesar da aparência, o não ter feito o relevante e imperativo que teria sido a redução das necessidades de energia aquando da conceção/construção do edifício, foi ocultado pela compensação por energia solar ‘captada no telhado’ da garagem...

Assim se demonstra que ‘nzeb’ é um conceito débil, que não consegue garantir ou até promover adequadamente uma abordagem inteligente e consequente ao projeto de edifícios e, portanto, significa uma terminologia que, não sendo necessariamente enganosa em abstrato, o é no uso tecnicista que lhe é dado, pelo que neste livro se recusa.

É um conceito corrompido e não sufragado pela Termodinâmica que pode levar a que haja quem se deixe levar na euforia do ‘marketing’ que, sendo deliberadamente erróneo ou sincopado, em vez de facilitar, dificulta a perceção e consequente correta adesão das populações.

Mas, claro, num país como Portugal, onde os primeiros responsáveis, que são o Governo e as autarquias, são ‘levados’, uns e outros, pela corruptela de que a energia é ‘a eletricidade’ (!), conseguirão sequer imaginar que, no caso do ambiente construído e do conforto interior, a energia, em primeiro lugar, reside na qualidade da urbanização e da construção do parque construído: orientação e proteção solar, isolamento térmico e ventilação controlada? E que, nisso, através da legislação e da sua implementação rigorosa, os primeiros responsáveis são as autoridades, já que na sua competência política de âmbito universal deveriam acautelar uma urbanização e uma construção cuja avaliação social e cultural não se exaurisse na volumetria e no económico, mas que fosse também sensível ao saudável e ao suficiente?

E, isto tanto mais quanto mais energia proveniente de fontes fósseis for usada no respetivo município *per capita*, por unidade de riqueza produzida, por km de via rodoviária, etc.

Este é um ponto incontornável de que, infelizmente, as políticas e práticas nacional e municipais ainda não se deram verdadeiramente conta ou, se se deram, fizeram-no sem a consistência cultural e técnica que garanta uma continuidade pagadora... Exemplos? Vejamos só a relevância que a CM de Lisboa deu ao primeiro impulso urbano significativo para a gestão energética na cidade (EXPO 98 – Parque das Nações) nos últimos 25 anos. Isto, apesar do caminho feito pelo projeto da EXPO 98 naquele sentido e da CM de Lisboa ter uma Agência de Energia criada pouco depois.

Não é possível escamotear o problema: as entidades municipais são genericamente todas ignorantes nesta matéria. Cada um pode não ser engenheiro ou arquiteto, mas tem que ser um cidadão culto, desde logo, no âmbito da sua responsabilidade.

É um exemplo. Mas há mais, como o edifício da Figura 3 acabado de construir na cidade do Porto, entre outros.

2.5. Suficiência e Eficiência Energéticas e Energias Renováveis

2.5.1. O Edifício como Sistema Energético

A definição de um sistema energético é muito simples, e como tal muito genérica abrangendo as mais diversas formas, condições e naturezas (ver 2.2). Apontou-se acima o que respeita à primeira condição de definição de um sistema físico: existência de uma fronteira que defina o sistema, a qual se pode apresentar segundo duas opções: fronteira fechada e fronteira aberta, sendo que este último é o caso que se adequa particularmente aos edifícios dado que estes não são submarinos – e nem estes o são, na realidade - nem estanques ao ar, nem à energia da radiação do Sol nem do ambiente envolvente (ar e superfícies), nem ao gradiente de temperatura da envolvente, exterior/interior ou vice-versa.

Os edifícios, neste primeiro quartel do século XXI estão cada vez mais em condições de serem dependentes a quase 100% das fontes energéticas renováveis, para certas condições de clima local, relacionando-se intensamente com o ambiente de proximidade, nomeadamente, com a energia solar, incluindo a gestão da insolação e do sombreamento, por grandes períodos ao longo do ano¹². Este é o caso de Portugal e de todos os países da bacia Mediterrânica onde a elevada humidade relativa do ar nunca coincide com significativos valores das temperaturas do ar ambiente (ver cap. 4.1).

O que se deixa acima significa que se valoriza o recurso às fontes renováveis de energia por meios também aqui intrínsecos ao edifício, como,

¹² Há poucos anos, convidado para intervir em Edmonton, no Canadá, fui surpreendido por como se constroem habitações à prova de bala todas de madeira e se plantam bombas de calor a dezenas de metros sob a neve para o aquecimento.

por exemplo, para o uso direto por iluminação natural e captação da radiação pelos envidraçados para o aquecimento; para o arrefecimento por sombreamento e pelo recurso a uma variedade de soluções incluindo a ventilação com percurso 'estratégico' adequado ao seu uso com a conjugação das várias opções alternativas já ilustradas acima. Trata-se de dar aqui oportunidade à energia solar térmica com armazenamento dinâmico nas componentes massivas (pavimentos e paredes usadas total ou parcialmente isolados sempre pelo exterior) e à energia fotovoltaica através dos sistemas que melhor se adequem tendo em conta as necessidades em termos específicos de temperaturas e de energia.

Na linguagem corrente e, infelizmente, até enfaticamente usada pelos agentes políticos do momento, recorre-se ao conceito de eficiência de um sistema para caracterizar o desempenho energético de um edifício chamando-se, por abusiva extensão, 'eficiência energética dos edifícios' à eficiência energética do sistema de aquecimento ou de climatização, sendo que estes sistemas específicos agem como '*add on's*' do edifício já que, eles mesmos, não são de facto partes do 'sistema edifício' (ver 2.3). São próteses! Entretanto, não obstante tal não ser plenamente um erro em si, essa linguagem tem vindo a conduzir sistemática e globalmente a um erro grave que contraria os melhores objetivos, já que atribui os méritos da eficiência energética de um sistema '*add on*' tal como um painel solar a outro sistema mais amplo do próprio edifício.

O que deve estar em causa é que os edifícios, enquanto sistemas energéticos '*per se*', possam satisfazer os objetivos saúde/conforto ao longo do ano, nomeadamente, nos períodos extremos (inverno e verão); e, não podendo alcançar isso plenamente, que possam ser construídos/reabilitados, quanto possível, próximos da condição de poderem satisfazer aqueles objetivos. E, no caso de não poderem garantir as condições de conforto, recorrer-se-á, então, a sistemas/equipamentos de suporte ou apoio que serão avaliados e seguidos enquanto tais. E, estes, claro, devem ser eficientes em termos físicos e serem alimentados, quanto possível, por energias primárias renováveis.

E, em qualquer caso, a linguagem não pode ser infantil, mas tão explícita e correta quanto possível.

2.5.2. Suficiência e Eficiência Energéticas nos Edifícios

Na sequência da discussão em 2.5.1 podemos concluir que em climas como o português, onde há uma certa amenidade climática, há também um elevado

potencial de suficiência energética para um qualquer 'sistema-edifício' enquanto coletor/gestor da energia ambiental e da energia 'gratuita' inerente (isto é, com moderados valores de temperaturas médias e assaz elevados valores de radiação solar por largos períodos) e torna-se possível associar o projeto de cada edifício – arquitetura, construção, aberturas e sua orientação, massa térmica 'utilizável' e isolamento da envolvente opaca e da semitransparente – às atividades inerentes e às exigências de conforto correspondentes.

A suficiência energética de um edifício, já que é do edifício como sistema que se trata aqui, é a capacidade que o objeto edificado tem em contribuir por si mesmo, pela sua arquitetura e construção e subsequente utilização/gestão, para a satisfação parcial ou total das necessidades/serviços de conforto ou outras/os que requerem energia (aquecimento, refrescamento, ventilação e iluminação). Soletando a definição acima, podemos imaginar o edifício como um objeto que vai ser criado e implantado num dado local e clima com determinada orientação, atentas as suas funções, e traduzido em espaços construídos, com paredes e aberturas dimensionadas, aqueles e estas, em resposta a critérios favoráveis à utilização dos ganhos solares e subsequente aptidão ao sombreamento e ao armazenamento (algébrico) do calor. E, assim, explorando o objeto arquitetónico, na sua forma, orientação e exposição ao Sol e na valorização do isolamento térmico e dos ganhos solares, sombreamento e mecanismos de ventilação natural, é possível assegurar a satisfação das condições de conforto ambiental no interior com significativa limitação das potências energéticas instaladas e redução dos respetivos usos de energia.

Trata-se de uma abordagem pela positiva em que a forma do edifício, a orientação dominante das fachadas, a organização dos espaços interiores em articulação com as anteriores, as técnicas construtivas, a seleção dos materiais e sua aplicação, tudo se deve conjugar para explorar as potencialidades dos ganhos solares, da redução das perdas térmicas pela envolvente e da busca das menores potências instaladas e equipamentos mais pequenos e mais eficientes possível.

A primeira meta é a da suficiência energética, porque, tendo sido projetado com a sensibilidade aferida pelo que deverá ser a marca de um E^2PA , o edifício deverá funcionar como um sistema energético que, por si só, permita assegurar uma parte significativa das necessidades de conforto ao longo de todo o ano, em diálogo com o clima circundante sem encargos energéticos e, em qualquer caso, com melhores condições do que as de um comum edifício de correspondente tipologia já existente em Portugal.

Com a exploração das potencialidades da suficiência energética ao nível do projeto, a energia a fornecer pelos equipamentos dedicados (aquecimento e arrefecimento) e, antes disso, as próprias potências dos equipamentos tenderão a ser significativamente menores e, conseqüentemente, mais bem ajustadas ao funcionamento anual, bem como mais reduzidos os investimentos na aquisição dos equipamentos e mais económica a sua utilização.

Ao edifício como sistema energético não repugnam os equipamentos que complementem as funções últimas que lhe incumbam: adequada qualidade do ar interior e adequadas condições de 'clima interior', seja de conforto para as pessoas, seja outro critério determinante, como por exemplo o da preservação de objetos/valores como é o caso de um museu.

O que deverá estar em causa como prioridade será a 'exploração' sequencial das potencialidades da escolha da localização, da urbanização, da arquitetura e da Física da construção para que os edifícios, por si mesmos, contribuam no seu máximo possível, através da sua implantação e orientação dos espaços e aberturas e construção com isolamento pelo exterior para que se alcancem os objetivos acima: de higiene, conforto e bem-estar, quanto possível, antes mesmo de se recorrer ao uso dos equipamentos complementares ou corretivos.

Então, com o desiderato da suficiência energética emerge um conjunto de novos objetivos/determinantes a trazer à colação em tempo útil, nomeadamente, ao desenho e ao projeto 'at large': dando de barato a salvaguarda da problemática da solidez estrutural e da adequação formal/estética da arquitetura.

Assim, enquanto fronteira '*in vs out*' é de curar dos aspetos do balanço ganhos/perdas de energia pela envolvente, clarificando entre:

- a) os desejados ganhos de energia do exterior (por aberturas estrategicamente localizadas e orientadas);
- b) as indesejadas perdas de calor (isolamento térmico pelo exterior das paredes e da cobertura e outras superfícies opacas; isolamento térmico adequado de envidraçados com portadas ou persianas, de preferência exteriores);
- c) a salvaguarda da inexistência de 'pontes térmicas' na construção através da salvaguarda da continuidade quanto possível do isolamento pelo exterior, desde as fundações até à cobertura; e, ainda,

d) a otimização do uso do recurso solar na perspectiva do edifício enquanto sistema físico tendo, por um lado, a já mencionada capacidade de recorrer a coletor solar 'estratégico', tida em conta a geometria solar e a variação anual da energia do Sol (radiação) e o armazenamento sob a forma de calor na envolvente interior através da inércia térmica e da sua ação nas trocas inter-superfícies dos espaços interiores - altamente favoráveis ao conforto - pela redução de gradientes térmicos conducente à amenidade do ambiente interior.

Os efeitos supra, a valorizar no clima temperado de Portugal, ainda que ajustados às especificidades dos microclimas, sejam eles montanhosos, marítimos ou insulares mas, também, urbanos, curando sempre das condições de conforto e de saúde pela exposição solar, tornam determinantes, ainda, para além das exigências acima, a consideração da organização vs função dos espaços interiores confinando eventualmente as zonas a serem mais ou menos aquecidas ou ventiladas e 'refrescadas' por equipamentos de dimensão e/ou plano de uso ajustados às suas funções e consequente gestão.

Chegados aqui, fica claro o potencial da suficiência energética do ponto de vista, em primeiro lugar, da redução das necessidades e consequentemente, da aquisição de energia de apoio exógena, mesmo que vinda através de equipamento no telhado da casa ou da garagem.

A suficiência energética diz respeito ao 'objeto-edifício' vocacionado para albergar pessoas segundo programas de vida muito diferenciados: habitação, escolas, lares de idosos, espaços hospitalares, locais de trabalho, etc., podendo assegurar a dispensa de energia exógena para o conforto ao longo de todo o ano, isto é, em condições de conforto de inverno e de verão, salvaguardados os ajustes pessoais de vestuário e uma vez atendido o adequado uso da envolvente, aqui tão sublinhado, explorando os sombreamentos no verão e os ganhos solares na estação fria e garantindo o uso eficaz de superfícies (pavimentos, tetos, paredes) com oportunidade/capacidade de acumulação de calor nas alternâncias dia/noite na estação de aquecimento e, em sentido simétrico, de frescura no período de verão.

O que se deixa acima pode levar a um largo espectro de opções a poderem ser exploradas pelos profissionais envolvidos, desde o arquiteto ao responsável pela energia, desde logo e não sendo de modo nenhum despidendo o recurso a pavimentos interiores compostos ou zonados, estrategicamente localizados em relação ao acesso da radiação solar, em partes com condições de sombreamento pelo exterior e condições das paredes e dos pavimentos para armazenamento térmico (mármore, por exemplo) e, outras de

madeira ou, mesmo, com alcatifa, no restante. Uma sala com janelas orientadas a Sul pode captar energia solar diretamente para um pavimento de mármore ou equivalente, através das janelas, o que levará a que ao fim do dia o pavimento quente terá um efeito de conforto ambiental de exceção. É um exemplo de sustentabilidade.

No verão fecha-se a janela/porta. Mas a altura do sol é outra, logo as janelas/cortinas podem ajudar-se mutuamente.

Esta visão está muito para além da habitual da casa em Portugal, em geral, vazia de ambição relativa à qualidade do ambiente interior e ao conforto, este materializado muitas vezes apenas em aspetos de exibição mais ou menos duvidosa de efémeros equipamentos eletrónicos.

Em suma, a suficiência energética significa o assegurar de uma certa frugalidade do edifício no que respeita à energia para o conforto tanto no Inverno como no Verão em favor de uma oscilação de temperatura assumida e aconselhada na lógica do conforto adaptativo (ver cap. 2.7). Afinal, um espelho do que é o modelo da vida do cidadão sereno, organizado, responsável, social, informado e fraterno.

2.5.3. Energias Renováveis em Edifícios Residenciais

O setor do edificado está entre os maiores utilizadores de energia, incluindo de combustíveis fósseis, não necessariamente por via direta, mas pela via indireta da eletricidade obtida ainda em grande parte a partir dos combustíveis fósseis (em Portugal, carvão e gás natural). A problemática ambiental impõe que os edifícios respondam pronta e amplamente aos desafios das alterações climáticas na medida das suas potencialidades, de uma forma integrada e sem subterfúgios ou corruptelas como seja o sobrepor-lhes a eficiência dos equipamentos de apoio quando eles, edifícios, não hajam sido otimizados *ab initio* enquanto sistemas energéticos. Os equipamentos podem ser eficientes, mas a própria necessidade da sua instalação deve ser justificada e, nesse caso, desde logo também a sua potência.

Ora, a responsabilidade perante as alterações climáticas, através de uma maior participação dos edifícios, passa por duas vias: a da suficiência energética, já abordada anteriormente nos seus critérios ao nível do projeto e meios/técnicas da construção, que é, tanto quanto possível, prioritária, mesmo em edifícios em altura (ver caso da Torre Verde no Parque das Nações, Figura 10), e cuja exploração é mister evocar aqui; e a da eletricidade/calor renovável, por razões óbvias.



Figura 10 Edifício da Torre Verde no Parque das Nações (2002) – Arq. L. Tirone e E. de Oliveira Fernandes.

O facto é que a suficiência energética é basicamente materializada em torno dos diferentes modos de tirar partido para o conforto ambiental da energia térmica ambiental (temperatura do ar e das superfícies envolventes, ...) e da energia solar que chega aos edifícios como radiação solar sob um feixe de luz que se exprime fisicamente num espetro de radiação ultravioleta, visível e infravermelha cuja penetração (inverno) através dos envidraçados permitirá iluminar e aquecer as paredes e os objetos, salvaguardando pelos sombreamentos, a contrapartida da prevenção de que a radiação penetre descuidadamente no interior (verão).

Chegados aqui, a abordagem das energias renováveis nos edifícios, pensando no clima de Portugal e no quão propícias aquelas e este são à suficiência energética, reclama o recurso a uma área de estudo específica que é a da geometria solar e dos ganhos solares térmicos pelos edifícios enquanto coletores e instrumentos de armazenamento de calor proveniente do Sol. A geometria facilita uma utilização diferenciada de inverno (captação de raios de baixa inclinação em dias curtos) e de verão (sombreamento de raios de elevada inclinação e grande amplitude azimutal).

O que se deixa acima bole com o desenho e, antes disso, com a implantação no lote, na sua forma em relação às orientações aconselháveis tendo em

conta a zona de sombra de obstáculos vizinhos no verão e/ou no inverno. De seguida coloca-se a questão da organização dos espaços interiores e sua hierarquia em relação à potencial adequação das aberturas para propiciar o acesso do Sol. Enquanto as perdas térmicas pela envolvente ocorrem de forma praticamente homogénea em toda a sua extensão, promovidas primariamente pelo diferencial térmico entre as temperaturas interior e exterior, os potenciais ganhos solares para os espaços interiores dependem drasticamente da orientação das superfícies e das aberturas na fachada, no seu diálogo com o percurso solar nos seus ciclos diários e anuais. Assim, a geometria da envolvente do edifício, o posicionamento e áreas de vãos nessa fachada, e a natureza e uso dos respetivos espaços interiores devem ser considerados em conjunto por forma a assegurar que a iluminação natural e os ganhos térmicos se fazem na medida e no tempo mais adequados a cada espaço. Isto consubstancia-se, habitualmente, numa priorização aos espaços ditos 'nobres', como salas, cozinhas e escritórios, posicionados nas secções Sul e Oeste, desenvolvendo-se os menos importantes, como corredores de acesso, casas-de-banho, arrumos, etc. nas áreas do edifício mais interiores ou a Norte. Os quartos, por seu lado, tendem a ser dispostos mais próximos da fachada Este, mas com a exceção da fachada Norte, todas as outras podem ser adequadas. Contudo, a integração destas considerações com as circunstâncias do terreno e da paisagem (discutidas em maior detalhe em 4.3) têm também de alimentar este processo de desenho, já que existem quase sempre aspetos a valorizar ou, pelo contrário, a evitar. Por exemplo, a existência de prédios em altura que possam sombrear, impedir a visibilidade da paisagem ou, até mesmo, afetar negativamente a privacidade dos espaços, deve ter repercussões efetivas no reposicionamento dos espaços interiores e respetivas aberturas.

Dando como adquirido que se assegurou a minimização das necessidades de aquecimento, arrefecimento e iluminação com as opções mais adequadas ao nível do desenho do edifício e que, por outro lado, se assegurou igualmente que os equipamentos, dispositivos e eletrodomésticos funcionam eficientemente e são usados com a disciplina adequada (por exemplo, desligando-os quando não estejam a ser necessários), então um edifício de elevado perfil ambiental deve poder fazer um uso ainda mais eficaz de recursos energéticos renováveis de proximidade, assim reduzindo o seu impacto nos sistemas energéticos nacionais. Isto, desde logo, para cumprir os requisitos mínimos regulamentares, que estabelecem hoje em dia um patamar mínimo equivalente à captação energética térmica de referência, correspondente à área de 0.65 m^2 de painel solar padronizado por cada residente (determinado com as metodologias e ferramentas oficiais

existentes para esse caso, nomeadamente a ferramenta SCE.ER, disponibilizada pela Direção-Geral de Energia e Geologia)¹³.

Num edifício E^2PA em Portugal, as necessidades de aquecimento devem ser muito baixas ou praticamente nulas, enquanto as de arrefecimento devem poder ser totalmente evitadas. Neste contexto, a expressão das necessidades de energia para aquecimento de águas sanitárias e as de eletricidade específica (onde se deverão incluir também as de preparação de alimentos) passam a ter expressão relativa ainda mais significativa. Também nesta frente os valores da suficiência energética deverão ter impacto, recorrendo por exemplo ao adequado isolamento da tubagem de água quente e a opções várias conducentes a um serviço de águas quentes sanitárias menos energívoro como, por exemplo, usando cabeças de chuveiro de muito baixo fluxo, redutores de caudal, e/ou recuperação de calor em chuveiros, poupando simultaneamente água bem como a energia para a aquecer.

Resulta que os perfis de utilização da energia num edifício E^2PA deverão ser significativamente diferentes dos perfis de um edifício feito com as considerações e práticas mais convencionais, devendo, portanto, ser considerados adequadamente em termos de recurso, dimensionamento e operação de equipamentos de aproveitamento de fontes renováveis de energia. Por exemplo, as potências de pico requeridas para os equipamentos deverão poder ser reduzidas drasticamente, o que poderá repercutir-se numa desadequação de determinadas soluções convencionais neste contexto específico. Poderá também aqui encontrar-se incentivo para recorrer a soluções mais flexíveis e que cumpram mais do que um propósito, como seja aquecimento de águas e ambiente num só sistema, como forma de reduzir a complexidade e maximizar os tempos de utilização dos equipamentos instalados. Nesta perspetiva, os sistemas solares térmicos (particularmente úteis durante a época de aquecimento) poderão vir a mostrar-se pouco aptos a corresponder de uma forma custo-eficaz quando comparados com soluções fotovoltaicas que podem ter uma produção útil durante todo o ano e alimentar processos não só térmicos como também de eletricidade específica¹⁴.

¹³ Ver em www.dgeg.gov.pt – secção 'Áreas setoriais -> Energias renováveis'

¹⁴ A questão da custo-eficácia das tecnologias solar térmicas em comparação às fotovoltaicas tem vindo a alterar-se significativamente nos últimos anos e tudo aponta para que essa progressão continue. Em particular, o custo dos sistemas fotovoltaicos continua a cair vertiginosamente, muito fruto da queda do preço dos painéis, também ajudada pela integração cada vez maior de sistemas de conversão, controlo e até armazenamento. Em contrapartida, os sistemas solares térmicos atingiram já há algum tempo um patamar de custo mínimo que dificilmente pode ser mais reduzido dada a maturidade da tecnologia e o pouco espaço para desenvolvimentos e inovação tecnológica e produtiva. Além dos custos dos sistemas em si, a complexidade e custo da instalação também tende a favorecer os sistemas fotovoltaicos, dada a maior simplicidade das ligações e a inexistência de sistemas

Em suma, o coletor solar de primazia é o edifício em si e, em particular, os seus vãos envidraçados. Só então, para todos os outros usos de energia que, tendo sido sujeitos aos valores da suficiência energética, não tenham uma resposta de alimentação renovável de proximidade, devem ser pensados os elementos 'add on', que sejam necessários, considerando o dimensionamento e perfis específicos (reduzidos) do edifício E^2PA .

2.6. Conforto e Salubridade dos Espaços Interiores

Um edifício deve ser, antes de tudo, saudável no sentido de que propicie condições de salubridade aos seus utentes. Esta primeira condição é particularmente subtil já que a saúde, sendo mais do que ausência de doença, implica, na definição da Organização Mundial de Saúde (OMS), um estado físico e mental que pode ser perturbado por fatores físicos e químicos do ambiente cuja existência é por vezes quase impercetível. Este é, por exemplo, o caso da exposição ao radão, gás nuclear de assaz curto tempo de semivida, mas cuja concentração, medida em unidades de radioatividade, não deve exceder os 100 Bq, dados os inerentes riscos cancerígenos. Claro que o radão poderá ser rastreado no ar durante a fase de pré-construção quando esta venha a situar-se em zona identificada de potencial ocorrência do radão, mas os seus efeitos na saúde (cancro) não são identificáveis nem antecipáveis. Ocorre que, por erros de construção, já se identificaram edifícios de um só piso no Porto com concentrações de radão superiores a 100 vezes aquele valor em granitos vindos do Douro interior.

Só em 1987 é que a OMS emitiu pela primeira vez um 'Guia' de valores-limite aceitáveis para um conjunto de poluentes do ar. Notável, desde logo, é o facto de este Guia não fazer diferenciação entre ar exterior e ar interior: a referência é sobre o (um único!) ar.

hidráulicos de ligação aos coletores. Contudo, há cenários em que o solar térmico poderá ainda assim oferecer vantagens técnicas relevantes, como o facto de ter uma capacidade inerentemente superior de conversão da energia solar em energia térmica (isto é, para uma mesma área de painel coletor, o solar térmico converte mais radiação em calor do que o fotovoltaico converte em eletricidade). Assim, em situações em que a área coletora seja muito pequena, a tecnologia solar térmica poderá vir a constituir uma solução mais capaz. É certo, contudo, que havendo capacidade de investimento, a instalação de um sistema de bomba de calor acoplado ao fotovoltaico praticamente colmata esta diferença, uma vez que um painel solar térmico consegue absorver cerca de 85% da radiação solar incidente, enquanto um fotovoltaico converte só cerca de 20% em eletricidade, mas que então correspondem a cerca de 70 a 80% de calor gerado via bomba de calor face à radiação solar originalmente incidente. Assim, dadas as especificidades das variações dos custos dos sistemas, do impacto da componente do custo de instalação, da magnitude das necessidades e disponibilidade de área coletora, fica claro que a seleção e dimensionamento dos sistemas tem de ser feito criteriosamente para cada projeto e por pessoal especializado nestas tecnologias.

Entretanto, a partir dos anos 90, por particular empenho da Comissão Europeia envolvendo, nomeadamente, o JRC (Ispra), a DGXII (*Research*) e a DGV (*Health*), uma vasta série de projetos foram sendo financiados desde 1993. Ao longo destes vinte anos foi possível auditar a qualidade do ar em várias tipologias de edifícios à escala da UE (escritórios, escolas, habitações, ...) e promover novas abordagens do problema da qualidade do ar tendo dado origem, nomeadamente, à estratégia para gestão da qualidade do ar interior, a saber: a do controle na fonte, isto é, há que prevenir as fontes uma vez que poluente que não é emitido não requer medidas de intervenção/gestão do ar (EnVIE, de Oliveira Fernandes *et al.*, 2008), e a necessidade do recurso à ventilação será apenas a necessária para fazer face às necessidades do metabolismo dos ocupantes (ver cap. 2.8).

A qualidade do ar interior, desde o séc. XIX, foi sendo vista sob a ótica da saúde e da segurança no trabalho face aos perigos a que se sujeitavam os operários (gases, poeiras, ruído, calores intensos, etc.). Daí adviriam consequências para a saúde e para a produtividade. Até que as políticas em favor da saúde e segurança no trabalho vieram a valorizar e a assumir progressivamente um papel-chave na salvaguarda da qualidade do ambiente de trabalho.

Já no caso dos trabalhadores de 'colarinho branco', os riscos para a saúde da ocorrência de deficiente ventilação ou da presença de agentes poluentes no ar foi durante muito tempo percecionada como marginal e a ventilação/climatização era vista (e sê-lo-á, porventura, ainda) mais numa ótica de conforto do que de saúde ocupacional. A necessidade objetiva de promover o conforto nos locais de trabalho nos países de clima tropical (temperaturas e humidades relativas simultaneamente elevadas) com a adoção do ar condicionado levou a uma associação quase direta entre ventilação e climatização, tendo esta entre nós durante algum tempo tido a sua potência instalada dimensionada na base minimalista e caricatural da capacidade do respetivo quadro elétrico.

É nestes contextos que reside a ainda pobre cultura relativa ao conforto e à saúde e ao bem-estar no interior dos edifícios em Portugal, sendo que o ensino universitário da Climatização se iniciou há escassos 40 anos na FEUP e no IST, a primeira legislação térmica remonta a 1991 (suficiência energética) e a inserção na lógica dos esquemas da UE, apenas tem uma ou duas décadas. Ao longo deste período um certo novo-riquismo, qual epidemia cultural, levou à expansão explosiva da 'necessidade do ar condicionado' em Portugal. Ora isto não é científica e climaticamente suportável. E ainda menos económica e civicamente suportável se sabemos que pode ser

evitado ou fortemente atenuado! Os portugueses ignoram que em Portugal não há temperaturas altas em simultâneo com humidades relativas altas. E que só essa simultaneidade justifica verdadeiramente a necessidade do apelo ao ar condicionado. Tal necessidade pode pontualmente justificar-se, mas por regra deveria, num país com tanta gente preocupada com as 'rendas' da energia, leia-se, eletricidade, ser fortemente condicionada.

Como ilustração, evoque-se que há pouco tempo algumas vozes se ergueram contra o facto de a regulamentação térmica dos edifícios em Portugal na altura limitar as potências de aquecimento/arrefecimento, ou seja, desde logo, a dimensão dos equipamentos de ar condicionado. Aqui d'el rei, dizia-se, que em muitos casos é mais fácil gerir bem o ambiente e assegurar melhor o conforto interior se não se limitar a dimensão dos equipamentos. Isso, de facto, até poderia deixar de ser um critério se a prática mostrasse que só se devem/podem instalar equipamentos em casas bem isoladas termicamente e em que o ar condicionado tem uma justificação específica. A não ser assim, como estabelecer que os equipamentos não irão comportar consumos elevados de todo dispensáveis se o isolamento da envolvente tivesse sido devida e oportunamente acautelado?

E é neste contexto que surgem então ainda outros conceitos distorcidos como o da '*energy poverty*', dificilmente identificáveis com a realidade cultural portuguesa, em que, vivendo os residentes em edifícios francamente maus, pouco podem de fato fazer para tornar os espaços interiores confortáveis. Pessoalmente, quando cada cidadão sente frio o primeiro movimento/iniciativa é de se agasalhar. Igualmente, para os edifícios, a primeira iniciativa é promover o seu isolamento térmico. Mas, pelo exterior. Como o utente faz com sua roupa! Só então se deverão dimensionar os equipamentos... A não ser assim, quase todo o aquecimento corresponderá a um desperdício de recursos energéticos e financeiros. E assim, também com este cunho cultural, o indivíduo chega muitas vezes à conclusão de que tem mais sucesso resguardando-se mais intensamente ou recorrendo a soluções de aquecimento mais localizado (como aquecedores radiativos, salamandras ou lareiras), aceitando então temperaturas médias interiores baixas, do que tentando 'lutar' contra uma envolvente demasiado permeável. Pode, portanto, estar-se perante uma opção consciente (quase estoica) no sentido de não aquecer os espaços ao nível que seria expectável noutras circunstâncias. O que se pode afirmar é que as habitações em Portugal, uma vez que tenham adequadas condições de isolamento térmico e de orientação das aberturas, terão reduzidas necessidades de aquecimento e, portanto, perde relevo a terminologia importada de '*fuel poverty*'.

2.7. Conforto Térmico Adaptativo

O conforto térmico começou por ter alguma abordagem de base tecnológica já no século XIX, associada às atividades nas oficinas da primeira era industrial e nas minas, em conexão com a problemática da saúde dos operários (tuberculose e doenças do foro respiratório, etc.), hoje na esfera da saúde ocupacional.

O desenvolvimento da atividade terciária levou ao aparecimento de novas necessidades no que diz respeito à saúde e ao conforto associados às condições em ambientes interiores com elevada ocupação humana. Entretanto desenvolveram-se também os equipamentos de refrigeração ambiental no que se veio a designar como ar condicionado, isto é, que levou ao desenvolvimento de toda uma indústria com enorme expansão em todo o Mundo, mas com grandes centros de desenvolvimento nos Estados Unidos, Europa e China, entre outros. Naturalmente trata-se de países que incluem climas pouco propícios para a vida urbana dadas as temperaturas e humidades relativas elevadas. Mesmo assim, a China pratica hoje uma aproximação à suficiência energética quando atribui no verão a primeira prioridade do ar condicionado ao controlo da humidade relativa e não necessariamente da temperatura máxima e, no inverno, limita a temperatura garantida pelos equipamentos a 2 a 3°C abaixo da temperatura típica de conforto contando neste caso, com o contributo dos utentes para o *'fine tuning'* do conforto através de uso de roupa adicional.

Com o desenvolvimento do ar condicionado nas décadas de 50/60 passou-se ao desenvolvimento do conceito de 'conforto ambiente' focado no ambiente interior explicitando os parâmetros críticos, a saber: temperatura, humidade relativa e velocidade do ar no contacto com a pele. Bastante mais tarde, foram introduzidos outros parâmetros associados à presença de substâncias nocivas para a saúde, gases ou partículas poluentes físico-químicas ou biológicas.

Entretanto, nos anos 70 do século passado surgiu um movimento conducente a caracterizar o conforto no que respeita à qualidade do ar interior expresso na sensibilidade de 'narizes treinados' aos odores, isto é, assentes numa base pseudoestatística criando 'narizes' treinados para avaliar em 'comité' de cinco a qualidade do ambiente interior em cada sala, inferindo da identificação de maior ou menor intensidade do odor na sala com uma grelha afinada em laboratório, a condição de maior ou menor poluição ou, inversamente, da necessidade de menor ou maior ventilação com ar fresco

(ou tratado vs condicionado) sendo que esta necessidade se convertia na prescrição induzida pelo parâmetro-referência de avaliação da qualidade do ar ambiente).

Tal abordagem viria a ser afastada na sequência da intervenção de psicólogos franceses já no princípio deste século, que demonstraram que esse método, designado de sensorial, não era fiável porque assentava em falsos conceitos no domínio da psicologia, nomeadamente, nas virtudes afetas a uma memória que, afinal, não é neutra porque também é afetiva.

De facto, o conforto térmico, assim designado, é uma realidade de sempre e resolvida através dos tempos de acordo com o clima, a latitude e a cultura, que inclui a natureza e o nível de vestuário, e esta mesma, influenciada pelas primeiras, é gerida através dos hábitos culturais/tradicionais e socioeconómicos de cada sociedade ou grupo, deixando uma componente ao alvedrio do utilizador através da gestão do seu próprio vestuário. Por isso, nunca seria espectável que uma abordagem rígida estatística, almejando determinar e fixar valores de conforto que satisfaçam a maioria das pessoas, pudesse vir a ser bem-sucedida nos seus propósitos. E esta realidade verificou-se de forma mais severa em locais com climas amenos (como no caso dos países com climas Mediterrânicos). Com uma longa história de vivência íntima com o ambiente exterior, com longos períodos de abertura de janelas e portas, e envolventes permeáveis e mal (ou nada) isoladas, a cultura local incorporou uma abordagem de adaptabilidade e frugalidade nas suas expectativas de conforto.

Foi já neste contexto que, em meados da primeira década do século XXI, o conceito de conforto evoluiu para uma perspetiva mais flexível, já não fixando valores concretos para as épocas ditas de aquecimento e de arrefecimento, mas definindo bandas de aceitação, refletindo a variabilidade das preferências das pessoas, e – ponto chave – definidas face à temperatura média exterior dos 30 dias anteriores (Figura 11). Isto é, fica intrínseco o papel da vivência mais geral do indivíduo, desde logo com a consideração das incursões no exterior e os aspetos físicos e psicológicos relacionados com o próprio clima, nas suas preferências, expectativas e capacidade de adaptação no sentido de se sentir confortável. E isto reflete aquela que é uma realidade onde as pessoas se vestem tendo em atenção e na justa medida a adaptação às condições térmicas do exterior. Reflete também a ideia de que o conforto, agora denominado de adaptativo, não é só uma condição física do espaço interior, mas sim uma relação entre este e o indivíduo, num diálogo flexível e adaptado, com uma postura de frugalidade

natural e até de redução das amplitudes térmicas sentidas na transição interior/exterior e vice-versa.

Do ponto de vista de cálculo e estimativa de necessidades de aquecimento e arrefecimento em edifícios, as abordagens continuam a assumir, mais por simplicidade, temperaturas-alvo nominais para cada um dos períodos de avaliação. Por exemplo, no caso dos cálculos dos projetos de térmica e da certificação energética nacional, assumem-se valores-alvo de 18°C de temperatura interior constante na determinação das necessidades de aquecimento e 24°C nas de arrefecimento. Contudo, as próprias instituições nacionais relevantes afirmam que tais condições são fixadas com o propósito claro – e correto, dizemos nós – de permitir uma base de comparação concreta e objetiva entre edifícios, em condições nominais, e não com o objetivo de servirem como recomendações ou até expectativas realistas para a operação dos edifícios.

Desde logo, também os utentes, uma vez esclarecidos da aproximação ambiental possível do edifício, cada um poderá ter que ser responsável pelo ajuste da sua roupa por ‘fine-tuning’.

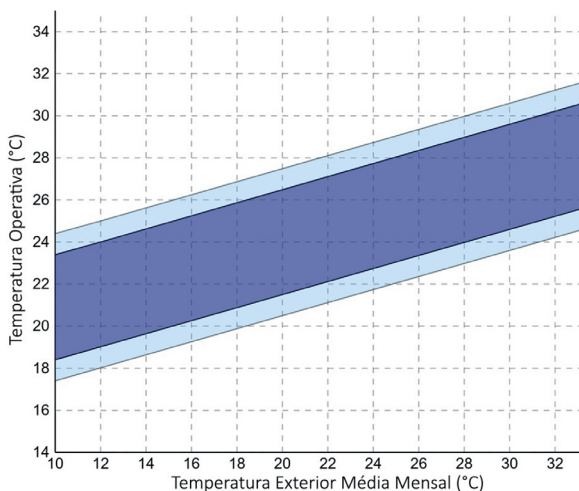


Figura 11 O modelo de conforto adaptativo, como definido pela norma ASHRAE55 (ANSI/ASHRAE Standard 55, 2013), relaciona a temperatura de conforto interior adaptativo com a temperatura média exterior recente (dos 30 dias anteriores). Mostram-se duas regiões, uma delimitando as condições de conforto com 90% de aceitação pelas pessoas (banda escura) e outra por 80% (banda clara).

2.8. Qualidade do Ar Interior (QAI)

Tem-se assistido, nas últimas décadas, a um marcado desenvolvimento do conhecimento, da tecnologia e das práticas e políticas relacionadas com a qualidade do ar interior (comumente referida em inglês por *'indoor environmental quality'* ou IEQ). No fundo, o conceito pretende traduzir para além das condições de conforto também as de salubridade, determinadas por aspetos físicos (entre outros, temperatura, humidade relativa, velocidade do ar, luminosidade/contraste, ruído), químicos (presença de compostos em concentrações potencialmente danosas para a saúde), e biológicos (como sejam vírus, bactérias, fungos, pólenes, ácaros, etc.). É, portanto, uma área particularmente multidisciplinar e naturalmente complexa, carecendo, ainda, apesar da evolução referida acima, de mais investigação científica, melhor compreensão pelos agentes decisores e políticos e maior divulgação pelos profissionais e público em geral. E tudo centrado na preocupação de se dispor de um sensor que possa recolher a informação e transmiti-la a uma central que determine a correspondente ação. Muita investigação se tem vindo a desenvolver nesse sentido havendo já alguns produtos no mercado ou próximos de chegar a este¹⁵.

Na procura por uma adequada qualidade do ambiente interior, isto é, por espaços saudáveis e confortáveis, tem-se vindo a assistir frequentemente a um aparente conflito entre esta e os objetivos da sustentabilidade ambiental ligados ao uso de energia nos edifícios, já introduzidos acima.

Dois dos exemplos mais evidentes deste conflito encontram-se na crescente procura de maior conforto térmico (geralmente implicando maiores necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento) e na necessidade de garantir a qualidade do ar (pretensamente “resolvida” com maiores taxas de renovação do ar interior).

¹⁵ Numa lógica de posterior integração da informação relativa à qualidade do ar interior com os próprios sistemas de controlo de ventilação, é relevante que os sensores possam comunicar as suas medições. Esta é uma área em que tem havido grandes desenvolvimentos recentemente e que se estima venha a evoluir substancialmente. De momento, sistemas de controlo e comunicação como o Google Home, SmartThings, Apple Home, ou até mesmo sistemas mais modulares com lógica programável IFTTT (If This Then That), têm batalhado para se estabelecerem no mercado como líderes. Em paralelo, um conjunto de soluções de sensorização tem também surgido, como por exemplo o Foobot (foobot.io), os monitores da Blueair (www.blueair.com), da Awair (getawair.co.uk), e diversos outros. A seleção dos sensores a usar deverá ser ditada muito pela própria natureza dos sistemas de controlo/domótica que venham a ser instalados no edifício, visto que cada sensor tende a funcionar só com um ou com um número limitado de protocolos de comunicação.

2.8.1. Abordagens à QAI

Ao nível dos edifícios residenciais, há essencialmente duas abordagens distintas que podem ser exploradas para resolver ou minimizar aquele conflito entre qualidade do ambiente interior e sustentabilidade ambiental. Desde logo há a abordagem de suficiência, que procura explorar prioritariamente o potencial do próprio edifício ao nível do seu desenho e conceção, otimizando-o para aproveitar o potencial do clima local e do controlo das fontes poluentes, ainda antes de fazer quaisquer “correções” finais para o conforto e a qualidade do ar. E depois, com menor prioridade, há a solução tecnológica que faz uso de equipamentos cada vez mais eficientes de climatização e de recuperação de calor (normalmente implicando maior estanqueidade dos edifícios de forma a maximizar o potencial da tecnologia).

A primeira abordagem, não inibindo de todo a segunda, de facto, reduz as próprias necessidades de climatização e ventilação, isto é, de energia, de tal forma que poderá porventura dispensar o recurso aos equipamentos de climatização ou requerendo capacidades de resposta muito menores destes. Em regiões com climas temperados como é o caso de Portugal, o correto aproveitamento do potencial de um edifício ao nível da captação da radiação solar, do sombreamento, da inércia térmica e da ventilação natural, torna dispensáveis os equipamentos de climatização e ventilação na grande maioria dos edifícios residenciais novos ou devidamente reabilitados. Tal não é certamente a realidade em países com climas mais extremos onde as condições, de facto, justificam, quer técnica, quer economicamente, o recurso a sistemas mais complexos de climatização e ventilação mecânica.

Aquilo a que se tem assistido nos últimos anos tem sido uma ‘colonização’ do setor dos edifícios em Portugal por conceitos e tecnologias importados e desajustados à nossa condição climática. O acesso simples e rápido a conhecimento e práticas exógenas, e uma incessante procura pela inovação aliada ao apelo daquilo que nos chega de países economicamente mais desenvolvidos, como os Estados Unidos, Alemanha ou Reino Unido, tem-se traduzido numa tendência de globalização de ‘*designs*’, materiais e tecnologias que passaram a permear a indústria e as práticas dos profissionais da climatização, sem a devida consideração das necessidades efetivas e sem que as adaptações às condições locais hajam sido tidas em devida conta, isto, à revelia da competência e da ética profissional.

Um exemplo disto encontra-se nos próprios documentos legais que regulamentam a térmica de edifícios. Naquilo que diz respeito à ventilação, há



Figura 12 A qualidade do ar interior é influenciada por um vasto conjunto de fontes, quer internas quer externas, parte das quais este esquema procura representar.

uma clara preocupação pela qualidade do ar interior e das patologias nos edifícios, em particular das condensações em superfícies. A solução proposta baseia-se numa lógica de garantia de ventilação mínima contínua e determinada pelo volume interno do edifício, independentemente das verdadeiras necessidades de ventilação que se deveriam estabelecer em função do número de ocupantes e níveis de temperatura e descurando completamente os hábitos e práticas dos próprios ocupantes. Desta forma, obriga-se a que o projeto de edifício demonstre garantir um mínimo estimado de 0.4 renovações de ar por hora, fiscalizado em sede de certificação energética.

Desde logo a afetação da ventilação ao volume interno do edifício faz pouco sentido, uma vez que as putativas cargas de poluentes e qualidade do ar pouco ou nada têm a ver com essa métrica. De facto, numa situação em que os materiais tenham sido controlados por um sistema de monitorização e certificação de emissões (cada vez mais comuns, como já foi referido), e em que as fontes pontuais de combustão e libertação de humidade (como sejam fogões, duches, caldeiras, etc.) estão associadas a extração mecânica local adequada (como é atualmente obrigatório), torna-se aceitável assumir que as fontes de poluentes remanescentes no espaço interior não evitáveis estejam associadas somente aos seus ocupantes. Nesta perspetiva, fará então todo o sentido que a ventilação seja definida não só pelo número espectável de ocupantes de cada espaço, mas sobretudo pela sua efetiva presença. Há outras fontes como ambientadores, velas, etc. que, sem falar do tabaco, deverão ser banidos dos ambientes interiores.

Por outro lado, tem-se vindo a tomar consciência, para casos de cidades com níveis de qualidade do ar recorrentemente inaceitáveis do ponto de vista da saúde, que na realidade o ar é só um, independentemente de estar no exterior ou interior de um espaço. A poluição no exterior permeia a fronteira do edifício e penetra, em maior ou menor extensão (Figura 12). Níveis de ventilação exagerados face às reais necessidades só tendem a exacerbar esse potencial problema. Retenha-se que os descritivos apontam eventuais fontes de poluentes, mas numa ótica ilustrativa. Não permite generalizar conclusões.

2.8.2. Suficiência na Ventilação

O projeto HealthVent (Carrer *et al.*, 2018), contratualizado pela Comissão Europeia demonstrou que a ventilação que continue a não ser tratada convenientemente pode ser causa nefasta para a qualidade do ar interior, e uma das suas conclusões efetivamente recomenda afetar as taxas de

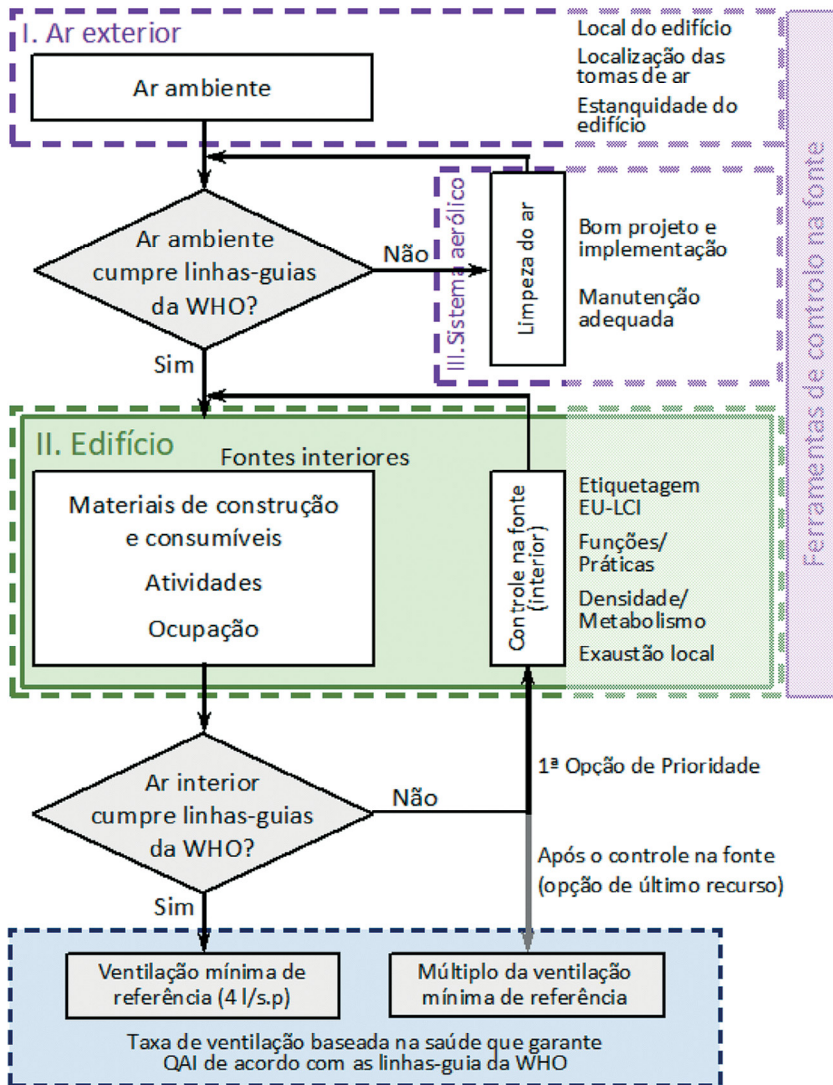


Figura 13 Diagrama de decisão para determinar as necessidades de ventilação para um dado edifício (EOF & HS - projeto HealthVent, EC 2013).

ventilação ao número de ocupantes. Adicionalmente, determinou que um mínimo de 4 litros por segundo por pessoa (cerca de 15 metros cúbicos por hora por pessoa) asseguraria níveis de ventilação que garantiriam a qualidade do ar interior quando as fontes poluentes interiores tivessem sido previamente eliminadas (restando, portanto, como 'fontes poluentes', apenas os ocupantes através dos bioefluentes). Mesmo num exemplo desfavorável de um casal com dois filhos a viver em 80 metros quadrados de área útil, esta taxa de ventilação equivalerá a cerca de 0.25 renovações de ar por hora, muito abaixo do valor regulamentar em Portugal. Em qualquer edifício com menor densidade de ocupação, a comparação será ainda mais desfavorável. Não se pretende com isto sugerir que se reduza o nível de ventilação recomendada nos regulamentos, mas somente ilustrar o potencial do controlo das fontes de poluentes e da ventilação afeta às necessidades efetivas. De facto, a determinação do nível de ventilação necessário em cada edifício deve ser tratada numa abordagem estruturada, como sugerida pelo diagrama de decisão desenvolvido no projeto HealthVent (Figura 13), coordenado pelos autores.

Este diagrama, sucintamente, diz:

- tomem-se como referência as *guidelines da OMS* (World Health Organization, 2005, 2010) para a qualidade do ar em geral também para o ar interior (só há um ar);
- garanta-se que o ar da área de localização do edifício em apreço satisfaz aquelas condições. Se sim, pode-se ventilar a casa abrindo as janelas ou assegurando ventilação direta mecânica ou natural (cozinha, lavabos, etc.) evitando que a toma de ar seja próxima da rua ou de qualquer chaminé ou outra fonte de poluição do ar;
- em caso de se verificar o ponto anterior, i.e., se o ar exterior estiver em condições de ser injetado diretamente no interior, proceda-se. Caso contrário há necessidade de o filtrar;
- note-se que isto ainda não é um ar condicionado. Um 'ar condicionado' é um ar tratado num equipamento termodinâmico;
- verifique-se, entretanto, se o espaço (o edifício, ou uma sala particular, etc.) tem fontes poluentes reconhecidas (velas acesas, lareiras abertas, fumadores, tintas não certificadas nas paredes, idem para os vernizes nas madeiras, alcatifas por causa de partículas e especialmente, de ácaros. Todos estes produtos/materiais do quotidiano podem ser encontrados como produtos certificados por laboratórios

especializados e reconhecidos internacionalmente. Não há por isso razão para cobrir as superfícies ou usar produtos que não façam parte de uma lista de prudência quanto à sua libertação de poluentes gasosos ou particulados para o ar interior;

- se as exigências de controlo de fontes poluentes do ponto anterior se verificarem, então pode-se prosseguir com uma ventilação adequada ao número de ocupantes habitual na taxa mínima recomendada de 4 litros por segundo por pessoa;
- se, por outro lado, se identificarem potenciais fontes poluentes no espaço interior, procure-se encontrar soluções de controlo, como substituição de materiais ou equipamentos poluentes por outros reconhecidos e certificados como 'limpos'. Se neste ponto não se encontrarem soluções adequadas, então, como solução de último recurso, usem-se taxas de ventilação superiores, em medida adequada a diluir os poluentes.

A abordagem da ventilação contínua é claramente influenciada por práticas de países nórdicos, onde os edifícios residenciais são concebidos para serem estanques dados os diferenciais térmicos inevitáveis, sobretudo no inverno, e onde a ventilação mecânica com recuperação de calor é a prática não só comum como até obrigatória para todos os edifícios novos. Em Portugal, esta abordagem faz pouco sentido na maioria dos casos, desde logo porque a diferença entre as temperaturas interiores e exteriores raramente atinge os 20°C¹⁶. Nestas condições, um recuperador de calor muito dificilmente atinge os níveis de eficiência esperados e o calor efetivamente recuperado dificilmente justificará não só o custo de aquisição e manutenção do equipamento, mas também a própria eletricidade consumida para fazer funcionar o equipamento. Veja-se, a título de exemplo, os cálculos mostrados na Tabela 1, explorando 6 cenários operacionais alternativos para a ventilação numa residência com 4 pessoas. Assume-se, por simplicidade, que a taxa de ventilação necessária durante os períodos de presença de pessoas na casa é de 8 l/s por pessoa, (em concordância com o que se discute mais adiante no cap. 6.2), e que o período de operação da ventilação equivale a estar operacional 50% do tempo¹⁷. Consideram-se também 4 localizações em Portugal, cobrindo razoavelmente a diversidade e amplitude de climas no território.

16 Note-se que as temperaturas médias diárias exteriores em Portugal raramente atingem valores significativamente inferiores a 0°C e que, de acordo com os termos do conforto adaptativo (cap. 2.7), se admite que 18°C de temperatura operativa interior são aceites pela maioria dos ocupantes.

17 Alternativamente, é equivalente para estes cálculos considerar que a ventilação se faz de forma contínua e com a taxa de ventilação mínima recomendada por critérios de salubridade, de 4 l/s por pessoa.

É evidente que a eletricidade usada pelos sistemas de ventilação é independente do clima local, e que, por outro lado, as perdas térmicas por ventilação (i.e., quanto calor é perdido pela substituição de ar interior aquecido por ar exterior mais frio) só dependem das diferenças de temperatura entre o interior e o exterior (ou seja, do clima local). A energia térmica recuperada é função das perdas térmicas por ventilação e considera-se, por simplicidade, que a fração recuperada não depende significativamente do diferencial térmico entre os fluxos de entrada e de saída de ar. Na realidade há alguma dependência e a eficiência da recuperação tende a ser mais baixa quanto menor o diferencial térmico. Assim, considera-se na contabilidade dois cenários com uma eficiência de recuperação otimista (cerca de 70%) e outra mais realista para a realidade portuguesa (de 50%). Para comparação incluem-se cenários com ventilação mecânica só com extração, sem recuperação de calor (5) e usando ventilação natural (6).

Os resultados das necessidades de energia associadas à ventilação (isto é, deduzindo a recuperação de calor às perdas por ventilação e somando a eletricidade de energia dos ventiladores) mostram que só em climas mais severos é que a solução mecânica com recuperação de calor compensa energeticamente face à opção de ventilação natural. Em climas com invernos menos severos, a ventilação mecânica resulta sempre num incremento das necessidades totais de energia, independentemente da inclusão da recuperação de calor.

Estas leituras são robustas mesmo para outros cenários em que as taxas de ventilação sejam maiores ou menores, dado que as perdas térmicas por ventilação, a eletricidade requerida pelos ventiladores e a quantidade de energia térmica recuperada são variáveis dependentes e proporcionais ao volume total de ar trocado com o exterior¹⁸.

Deve ainda ser considerado, mesmo nos casos em que as diferenças possam ser pequenas, que a eletricidade consumida pelos ventiladores poderia, alternativamente, estar a alimentar um sistema de bomba de calor. Neste caso, cada unidade de eletricidade “vale” 3 a 4 unidades de energia térmica, o que favorece ainda mais as soluções em que as perdas térmicas possam ser mais elevadas. Por exemplo, no caso de Bragança, tem-se que na situação mais otimista, um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor resultaria em necessidades de energia para ventilação da ordem dos

¹⁸ Note-se que a contabilidade apresentada assume desempenhos e eficiências típicas quer para a unidade de recuperação de calor quer para os ventiladores. Consequentemente, em casos em que o desenvolvimento tecnológico ofereça, garantidamente e em utilização real, desempenhos significativamente melhores, admite-se a possibilidade de o balanço resultante poder ser invertido.

Tabela 1 Cálculo das necessidades de energia associadas à ventilação, quer por perdas térmicas (com ou sem recuperação) quer pelo consumo de eletricidade de sistemas mecânicos de ventilação (se usados), para um conjunto de 6 cenários técnicos de resposta às necessidades de ventilação num edifício com 4 residentes.

Cenário	1	2	3	4	5	6
Caudal (m^3/h) ^a	115					
Operação (h/ano) ^a	4380 (50% do tempo)					
Ventilação	Mec.					Nat.
Balanceda? ^b	Sim	Não	Sim	Não	Não	n/a
Recuperador (η_{HR})	70%		50%		-	
SFP ($kW/m^3 \cdot s$) ^c	2.5	2.0	2.5	2.0	1.5	-
	Consumo dos ventiladores (kWh/ano)					
Eletricidade	350	280	350	280	210	0
	Perdas térmicas por ventilação (kWh/ano)					
Lisboa (601 GD) ^d	284					
Porto (835 GD)	394					
Bragança (1752 GD)	828					
Faro (365 GD)	172					
	Energia térmica recuperada (kWh/ano)					
Lisboa	199		142			0
Porto	276		197			0
Bragança	579		414			0
Faro	121		86			0
	Necessidades de energia associadas à ventilação (kWh/ano)					
Lisboa	435	365	492	422	494	284
Porto	468	398	547	477	604	394
Bragança	598	528	764	694	1038	828
Faro	402	332	436	366	382	172
<p>^a $115 m^3/h = 8 l/s$ por pessoa x 4 residentes; casa ocupada 50% do tempo;</p> <p>^b Ventilação balanceada recorre simultaneamente a insuflação e extração (em oposição a recorrer somente a extração, num sistema não balanceado);</p> <p>^c Specific Fan Power (SFP), calculada de acordo com a nota técnica 65 da AIVC (disponível em goo.gl/LSs3i7)</p> <p>^d GD = graus dia de aquecimento anual ($T_{ref} = 15.5^\circ C$)</p>						

528 kWh/ano, o que aparenta comparar favoravelmente face à opção da ventilação natural (que precisa de 828 kWh/ano). Contudo, no primeiro cenário usam-se 280 kWh de eletricidade para os ventiladores que poderiam ser, alternativamente, transformados em mais de 840 kWh/ano de calor (assumindo um COP de 3). Assim, mesmo num clima mais severo em Portugal, só com a eletricidade necessária para alimentar os ventiladores do cenário com ventilação mecânica podiam-se cobrir todas as necessidades de aquecimento no cenário com ventilação natural.

Adicionalmente, é muito comum as pessoas em climas temperados abrirem janelas e portas para ventilar as suas casas, em proximidade com a evolução, ao longo do dia, do ambiente exterior e muitas vezes com frequência diária, o que acaba por derrotar o propósito da instalação dos sistemas mecânicos de ventilação.

Finalmente, a problemática das patologias nos edifícios e em particular daquelas derivadas das condensações, não é especificamente um problema de falta de ventilação. É, primeiro que tudo, um problema de pontes térmicas não resolvidas e de desconforto térmico que leva os ocupantes a resistirem abrir as janelas diariamente. Estes dois aspetos tendem a ficar devidamente resolvidos com as mais recentes exigências regulamentares para os edifícios novos e ainda mais num edifício de elevado perfil ambiental. Quando devidamente isolado e concebido com inércia térmica elevada, um edifício facilmente suporta, por exemplo, ventilação através da abertura de janelas nas alturas mais apropriadas do dia e por períodos razoáveis, assim assegurando a renovação do ar interior sem que isso tenha um impacto significativo na temperatura interior (dado que grande parte da reserva térmica se encontra nas paredes e lajes e não no ar que se perde – ver 5.3)¹⁹. Adicionalmente, o ambiente interior mais quente no inverno e a ausência

¹⁹ Por exemplo: num espaço com 4×5 m² com 3 m de pé-direito, em que 70% da área das paredes interiores esteja exposta ao ar e considerando uma espessura de 10 cm de massa de parede termicamente ativa para efeitos de inércia térmica do espaço, tem-se que a energia térmica do espaço estará maioritariamente armazenada em 60 m³ de ar e cerca de 3.78 m³ de parede (ignorando a contribuição dos outros elementos sólidos no espaço). Se se assumir paredes de betão, então tem-se que a quantidade de energia térmica armazenada nas paredes é cerca de 18x superior à armazenada no volume de ar (cerca de 5.5 MJ/K vs. 0.3 MJ/K). Quando se areja um espaço, substitui-se o ar interior por ar exterior, a uma temperatura mais baixa. Para um diferencial de 10°C entre o ar interior e exterior (como exemplo), tem-se que o processo de arejamento remove o equivalente a 3 MJ de energia térmica do espaço. A energia térmica das paredes, por ser muito mais dificilmente mobilizável, reter-se-á durante o processo de arejamento. Após o fecho das janelas o volume de ar ficará a uma temperatura 10°C inferior à que se tinha antes da ventilação, mas as paredes manterão praticamente a temperatura anterior. As paredes e o ar trocarão então de energia e um novo equilíbrio térmico é estabelecido aproximadamente 0.5°C inferior ao anterior, o que representa uma variação facilmente acomodável numa lógica de conforto adaptativo.

de pontes térmicas resolvem as duas condições necessárias a que se formem condensações, isto é, eliminam-se pontos significativamente mais frios nas superfícies interiores e a humidade relativa do ar será tendencialmente mais baixa.

Certamente há casos em que se justifica uma abordagem diferente para a ventilação (por exemplo em edifícios reabilitados em que as pontes térmicas não se possam tratar convenientemente), mas essa deverá ser a exceção à recomendação de base. Numa lógica de sustentabilidade ambiental, é importante não esquecer quais os objetivos e impactos da ventilação, restringindo o seu uso às necessidades efetivas. Em Portugal este desiderato é não só facilmente atingível, mas também de enorme importância para que todos possam ter boa qualidade do ambiente interior nas suas casas e para que o impacto ambiental dos edifícios residenciais seja tão baixo quanto o nosso clima o permite.

2.8.3. Suficiência na Ventilação. Caso do Ar Condicionado

A ventilação enquanto condição de qualidade de vida não pode ser descuidada, mas para isso convém ter presente os valores que lhe estão associados para além da respiração, função vital dos seres vivos. Daí a necessidade de se salvaguardar a qualidade da ventilação que é o mesmo que a qualidade do ar. Ora o ar 'recolhe' uma panóplia de gases, vapores e partículas que todos sabemos nefastos à saúde. Daí as políticas quanto à qualidade do ar das cidades e, em particular, nos espaços fechados, de habitação, trabalho ou recreio. Entretanto, excluindo o caso dos odores, há uma generalizada 'benevolência' no que respeita à salvaguarda da qualidade do ar.

Importa, pois, ter presente a necessidade da ventilação dos edifícios não só pelo desconforto dos odores, mas pelas reais necessidades de respirar ar saudável. Tal deve poder ser conseguido pela abertura das janelas, como é tradição fazer-se no período da manhã. Mas, há que ter consciência que na habitação, como na escola, no emprego, etc. o risco de poluentes no ar requer uma cultura e uma prática de atenção à qualidade do ar. Tabaco, desodorizantes, tintas, animais de estimação, poluição urbana ou de proximidade de vias de tráfego intenso ou de unidades industriais menos cuidadas, cozinhas, lareiras, etc. Vários estudos foram desenvolvidos para identificar as fontes da poluição do ar interior desde os anos 90 do século passado sob a liderança da Comissão Europeia. Na realidade, os estudos levados a cabo nos anos noventa conduziram à conclusão de que a medição da composição do ar por métodos químicos ou físicos não é adequada para caracterizar

2. ENERGIA NOS EDIFÍCIOS. CONCEITOS

a qualidade do ar interior devido ao número elevado e diversidade de poluentes no ar interior. Outras abordagens, desde logo na prevenção quanto aos materiais usados e às práticas (tabaco, etc.) são sugeridas na lógica da prevenção em lugar da 'cura'.

Entretanto, os resultados das investigações levadas a cabo, a nível da Comissão Europeia e da Organização Mundial da Saúde forma levando a uma melhoria significativa do quadro de melhoria da qualidade do ar interior. Importante será que as instituições, políticas, administrativas e detentoras de edifícios estejam conscientes e disponíveis para seguir o estado da arte.

Sendo tal uma matéria cuja tecnicidade excede o contexto deste livro importa deixar claro que há já muitos estudos também em Portugal sobre esta matéria, nomeadamente pela Universidade do Porto, pelas Faculdades de Medicina e de Engenharia e institutos de investigação como o Instituto de Saúde Pública da Universidade do Porto (ISPUP).

3. Os Edifícios no Sistema Energético Nacional

Na história das últimas décadas, a energia final, isto é, a energia comercial usada em Portugal tem-se repartido por partes razoavelmente semelhantes entre os grandes setores da indústria²⁰, dos transportes e dos edifícios (agregando os residenciais com os de serviços). De acordo com as estatísticas, referentes ao ano de 2015, aqueles setores representaram cerca de

²⁰ Incluindo-se neste, por simplicidade, agricultura, pescas, construções e obras públicas.

34%, 37%, e 29%, respetivamente. De facto, desde o ano 2000 (Figura 14) pouco se alterou esta repartição (com um desvio padrão em torno de 1% neste período). Nota-se apenas um decréscimo do peso da indústria (redução inferior a 0.2% anual), que é compensado com uma tendência inversa nos edifícios (principalmente alimentada por um aumento do peso dos edifícios de serviços).

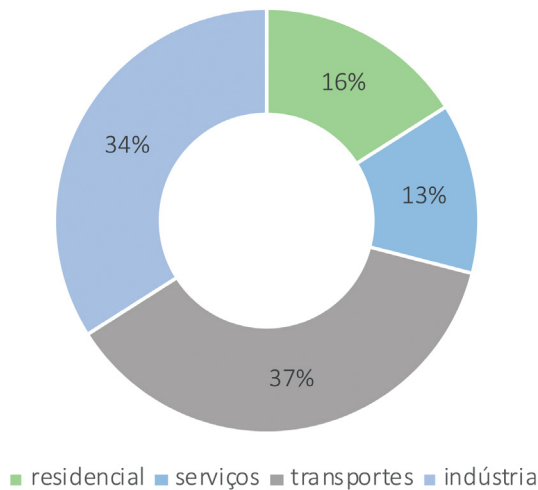


Figura 14 Peso de cada um dos grandes setores energéticos na procura da energia final para o ano de 2015.

Porém, o impacto ambiental não é corretamente refletido, e por isso ainda menos intuído, quando contabilizado em termos de energia final (ver cap. 2.1). Para isso será melhor analisar o uso de energia relativo ao setor dos edifícios em termos de recursos primários e respetivas emissões equivalentes de CO₂, estas sim diretamente associáveis aos impactos ambientais. Efetivamente, quer em termos de energia primária, quer em termos de emissões, o setor dos edifícios teve um peso relativo de 36% em 2015 (Figura 15), sendo, portanto, o setor com o maior impacto ambiental associado ao uso da energia em Portugal. Esta diferença prende-se principalmente com o facto de o setor dos edifícios tender a usar mais eletricidade que os restantes setores, e grande parte ser ainda obtida pela via térmica com eficiências não ultrapassáveis dos cerca de 35% de eficiência. Em 2015, a eletricidade representou cerca de 55% da energia final usada nos edifícios de serviços e cerca de 40% nos edifícios residenciais, enquanto essa fração foi de 27% na indústria e menos de 1% nos transportes.

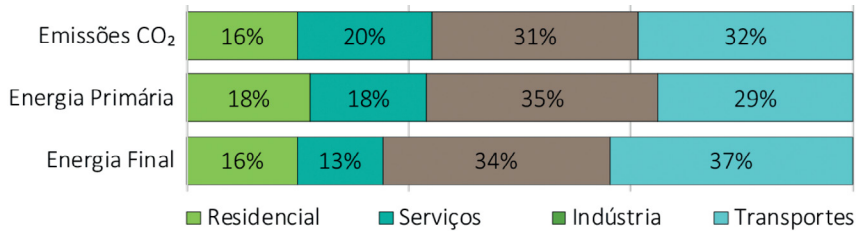


Figura 15 Peso dos vários setores da procura de energia no ano de 2015 em termos de emissões de gases com efeito de estufa (em unidades equivalentes de CO₂), energia primária e energia final.

A rápida transição posterior a 2000 no sentido da incorporação de cada vez mais energia primária proveniente de fontes renováveis no sistema electroprodutor nacional levou a que a eletricidade tenha cada vez menos energia primária incorporada²¹ e, conseqüentemente, também emissões de CO₂ tendencialmente mais baixas (Figura 16). A energia hídrica, apesar de bastante variável de ano para ano, tem contribuído consistentemente com uma média de um quarto da eletricidade já há algum tempo. Por seu lado, a produção eólica viu o seu grande crescimento entre 2004 e 2013, fruto do lançamento do programa de incentivos E4, em 2001. Desde então, os parques eólicos têm contribuído com pouco mais de um quinto da eletricidade nacional.

Desde 2010 que as fontes renováveis de energia têm representado, em média, cerca de metade da produção elétrica. Com os preços das tecnologias associadas às fontes renováveis a decrescerem continuamente, em particular os da energia solar fotovoltaica e do armazenamento elétrico, é expectável que uma nova vaga de transformação do setor electroprodutor se venha a registar nas próximas décadas.

Em paralelo, está em curso um processo natural de eletrificação do sistema energético que, não levando necessariamente a um incremento da procura de energia, coloca um peso maior na procura específica de eletricidade. Em particular, assiste-se hoje a um ímpeto significativo a favor da eletrificação do setor dos transportes.

²¹ Mesmo contabilizadas todas as significativas contribuições das fontes renováveis de energia, a eletricidade ainda hoje, tem uma incorporação de quase duas unidades de energia primária por cada unidade de energia final (1.97 Uep/Uef em 2015, calculado com base no balanço energético nacional publicado pela DGEG, e contabilizando o saldo importador elétrico). Isto é, o fator de conversão de energia primária para eletricidade final tem vindo a decrescer. Se em 2015 este fator foi de 1.97 Uep/Uef, seis anos antes tinha sido de 2.01 Uep/Uef. A produção elétrica renovável é geralmente contabilizada com um fator de conversão de 1 Uep/Uef.

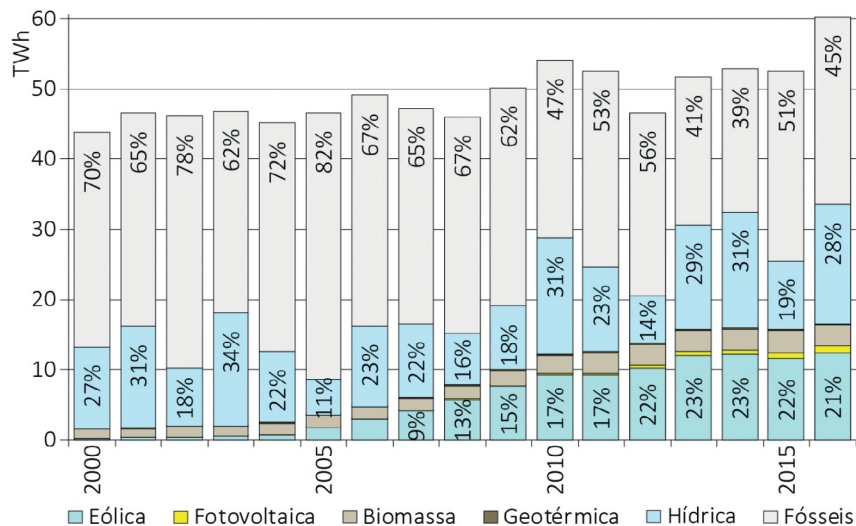


Figura 16 Histórico da produção de eletricidade em Portugal entre 2000 e 2016, realçando a contribuição das diversas fontes renováveis de energia incorporadas.

Destes dois movimentos espera-se que resulte uma redução significativa do impacto ambiental associado ao sistema energético, quer pela via da redução das emissões de gases com efeito de estufa, quer pela redução dos danos físicos diretos na natureza associados à exploração dos combustíveis fósseis e alguns outros renováveis, como sejam os casos da produção florestal para biomassa ou produção agrícola para biocombustíveis.

Por seu lado, nos edifícios, há um conjunto de transições tecnológicas que deverão culminar na sua total eletrificação, nomeadamente:

- aquecimento/arrefecimento ambiente com bombas de calor;
- aquecimento de águas com solar térmico e/ou bomba de calor;
- preparação de alimentos com placas elétricas de indução ou vitro-cerâmicas.

Esta transição, incidindo principalmente em equipamentos e eletrodomésticos com tempos de vida relativamente limitados, deverá acontecer com alguma rapidez, fruto da natural taxa de substituição.

3.1. Breve Contexto Histórico Sobre o Conforto nos Edifícios residenciais em Portugal

Centremo-nos nos edifícios residenciais do parque edificado em Portugal. Talvez a sua análise muito sumária para o fim do edifício de elevado perfil ambiental pudesse, por simplificação, considerar um passado próximo com 3 ou 4 grandes períodos de extensão, aliás, assaz desigual. Assim, num primeiro período de um passado, apesar de tudo, algo recente já que ainda vivido pelos estratos mais idosos da atual população portuguesa, os edifícios eram caracterizados para a generalidade do território por uma construção marcada pelo clima e geografia locais. Nas cidades e outros aglomerados, critérios específicos (estratégicos, e outros) foram sendo usados conforme o tempo e a cultura: de vigilância e defesa; de exposição ao Sol; de proximidade/acesso de determinados bens ou recursos, etc. Isso, a par da influência do clima e, em associação com este, dos materiais e do tipo de atividade no campo, nos rios ou no mar. Na arquitetura residencial tradicional portuguesa do território continental talvez se possam, simplificando, identificar cinco tipologias construtivas mais específicas: Minho, Trás-os-Montes, Litoral Atlântico, Alentejo e Algarve²². Tomam-se como referência casas isoladas já que as casas contíguas eram frequentes em ambiente urbano e ao longo das vias de comunicação, em sequências em banda de extensão ao longo das estradas até cerca de 100 metros (Estremadura e Ribatejo, nomeadamente). De notar, desde já, que quase não existiram e não existem verdadeiras casas de madeira em Portugal. De facto, com poucas exceções, algumas construções de madeira sempre frágeis encontravam-se pontualmente na orla marítima para as designadas 'armações' da pesca enquanto a madeira era usada por todo o país como elemento portante e estruturante das divisórias interiores de tipo 'tabique'²³.

Voltando às cinco tipologias, elas marcavam a função habitação/gestão agrícola com as casas predominantemente de pedra, com dois pisos, no Minho

22 *Arquitectura Popular em Portugal*. Sindicato Nacional dos Arquitectos, Lisboa, 1ª ed., 1961 (2vol.); 2ª ed., Associação dos Arquitectos Portugueses, 1980 (1 vol.); 3ª ed.: Associação dos Arquitectos Portugueses, 1988 (3vol.); 4ª ed.: Centro Editor Livreiro da Ordem dos Arquitectos, 2004 (2 vol.).

23 O fato desta observação ser válida para praticamente todos os países da orla Mediterrânea (e diversos outros climas temperados ou quentes e secos), aponta para uma incorporação clara pela arquitetura vernacular (feita sem verdadeiros arquitetos, mas sim pela experiência prática transmitida entre gerações) de soluções que favoreciam as condições de conforto com os meios e materiais disponíveis. Ora, apesar de tanto a madeira quanto a pedra estarem facilmente disponíveis em Portugal, os benefícios da inércia térmica nos espaços habitacionais, principalmente no verão, deverão ter estado por trás (não descurando a possibilidade de outras razões técnicas e culturais) da preferência pela construção massiva como meio de controlar os extremos térmicos das noites frias de inverno ou dos meios-dias abrasadores do verão.

e em Trás-os-Montes e Beira Alta, deixando o piso inferior para a adega, as alfaías agrícolas e/ou os animais. Era notória a preocupação de usar o piso superior com a maior fachada orientada a Sul (Beira Alta) com um envidraçado abundante para assegurar a amenidade na primavera e no outono enquanto no inverno a lareira funcionava durante todo o dia (Figura 17).



Figura 17 Fachada típica das regiões do Norte de Portugal, com extensas áreas envidraçadas voltadas a Sul para potenciar a captação solar no inverno com varanda orientada a Sul.

Por sua vez as casas alentejanas, com uma enorme massa nas paredes e uma caição de branco frequente ao longo do ano para ‘repelir’ os efeitos da radiação solar, marcavam a sensibilidade ao clima quente de verão, enquanto o frio do inverno era superado com a lareira destacando-se no perfil exterior da chaminé a sua dimensão (Figura 18). Finalmente o Algarve era marcado por casas com cobertura de terraço onde se chegava a dormir nas noites quentes de verão.

Outro período marcante ocorre com o início da industrialização em que se construíram, formal ou informalmente, bairros para os operários em condições que hoje poderíamos considerar inqualificáveis ou mesmo indignos.

Entretanto, as casas não tinham tradição de isolamento térmico. Havia ainda uma tendência para a parede dupla²⁴, como proteção contra as infiltrações

²⁴ De notar que, mesmo apesar de pouco comum, a utilização de parede dupla na construção remonta a séculos, encontrando-se ainda hoje alguns exemplos em casas antigas, centenárias, de construção mais cuidada, soluções em que as faces interior e exterior das paredes em pedra são mediadas por



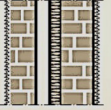
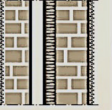



Figura 18 Casas alentejanas, de janelas modestas, paredes massivas e caiadas, e chaminés substanciais.

da humidade, e progressivamente também como medida de isolamento térmico, esquecendo que as perdas térmicas são como as perdas de água de um vaso furado: por mais espessas que sejam as paredes do vaso, a água (ou calor) escoar-se pelo buraco, isto é, pela solução de continuidade sempre que haja gradiente de potencial, gravítico no balde, da função potencial 'temperatura' na parede.

Já nos anos 60 houve um surto de nova construção, sempre sujeita a uma 'lei de mínimos' de conforto e de salubridade. Surge neste período a prefabricação de casas e/ou componentes tendo emergido novas cidades algo pioneiras nas periferias urbanas de Lisboa, como Santo António dos Cavaleiros, para citar uma, no concelho de Loures, iniciada com técnicas de prefabricação - conduzindo à explosão da habitação na periferia sem a qualidade aceitável a todos os níveis. A seguir veio o cortejo dos 'patos bravos' construtores intuitivos e repetitivos de uma prática de construção toda mimética sucessivamente com o recurso ao betão, ao pré-fabricado e ao tijolo. Depois de um período de difusão da parede dupla, predominantemente de tijolo, surgiu já na década de 90 o isolamento térmico por gesso cartonado (genérica e impropriamente designado *pladur*) pelo interior, ou pelo exterior com ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*,

uma camada de materiais vegetais fibrosos, frequentemente polvilhada com areia para impedir a acomodação de roedores nesses espaços.

				
PAREDE DE PEDRA SOLTA OU APARELHADA	PAREDE SIMPLES OU DUPLA DE ALVENARIA DE TIJOLO	PAREDE DUPLA DE ALVENARIA DE TIJOLO	PAREDE DUPLA DE ALVENARIA DE TIJOLO	PAREDE DUPLA DE ALVENARIA DE TIJOLO OU SIMPLES, ISOLADA PELO EXTERIOR
Sem isolamento	Sem isolamento	0 a 20 mm isolamento	40 a 50 mm isolamento	50 a 60 mm isolamento
Anterior a 1960	1960-1990	1990-2006	2006-2013	Após 2013
*25%	*44%	*22%	*8%	*1%

* % de edifícios por tipo de parede

Figura 19 Tipologias de parede mais comuns por época construtiva e respetivas prevalências no parque edificado em 2016 (ADENE, 2016).

vulgo *capotto*), etc. Mais recentemente uma maior diversidade de processo e de tecnologias, muitas dedicadas à reabilitação têm acompanhado a evolução científica e tecnológica do setor desde os ‘toscós’ aos revestimentos e às janelas, estas sem curar muito das suas implicações numa necessidade até aí pouco reconhecida: a do ar condicionado.

Por muito tempo, as famílias viviam com dificuldades financeiras e o inverno ainda era superado com lareiras no meio rural e exíguos aquecedores elétricos ou a gás rudimentares e muita roupa. Não estavam asseguradas mínimas condições de conforto. No meio rural o consumo da lenha nas lareiras e braseiras assegurava a travessia da estação fria. A Figura 20 ilustra essa situação com os resultados de um levantamento exaustivo em 1978 feito por uma equipa da FEUP das fontes de energia e usos respetivos em três tipologias ‘edifício/utilizador’ em Moncorvo, Trás-os-Montes. Nesse levantamento, foram visitadas praticamente todas as casas de três comunidades:

- habitantes tradicionais de Moncorvo;
- habitantes originários de Moncorvo regressados de África em 1975; e,
- assalariados da EDP na obra da barragem do Pocinho

e contabilizados os consumos das energias apontadas: eletricidade, gás propano e lenha.

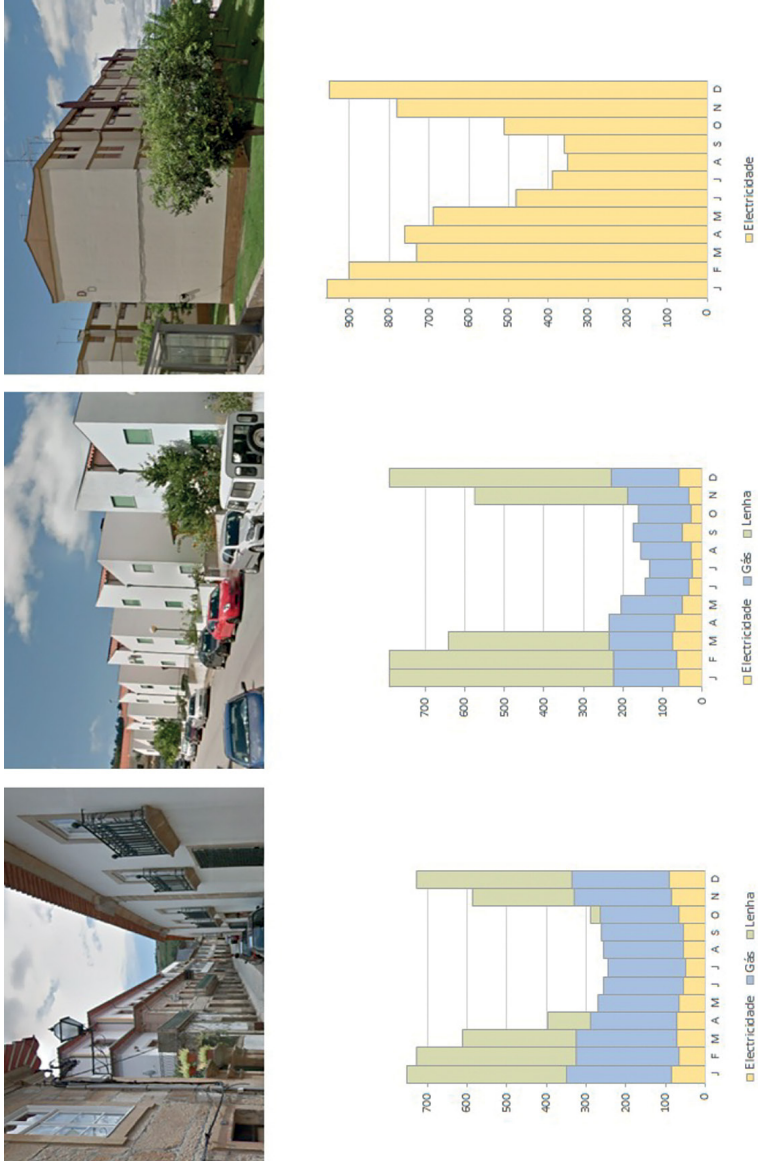


Figura 20 Resultados do levantamento exaustivo a três tipologias de edifício/utilizador em Moncorvo (1978). Habitantes tradicionais (esquerda), retornados de África (centro), assalariados da barragem do Pocinho (direita) (de Oliveira Fernandes, 1980).

A comparação dos níveis de 'consumo' é eloquente ao ilustrar o mesmo padrão de uso de recursos energéticos por parte dos dois primeiros casos, embora com menor uso de energia por razões seguramente económicas na altura, desfavoráveis para os ditos 'retornados', enquanto os trabalhadores da barragem com um perfil de uso exclusivo de eletricidade, variável ao longo do ano e equivalente ao dos cidadãos da cidade 'toda elétrica' do Porto, à altura com preços marcadamente mais baixos que os do resto do país. Moradores tradicionais e 'retornados' usavam pouquíssima eletricidade, quase exclusiva para o fim específico de iluminação com lâmpadas de muito baixa amperagem, pouca TV e rádio. As necessidades da cozinha eram asseguradas predominantemente com lenha no inverno e com gás butano no resto do ano para as mesmas comunidades, notando-se o efeito dos constrangimentos dos 'retornados'.

Os anos 70, com as mudanças políticas e sociais e a interação interna com os milhares de famílias com emigrantes, nomeadamente, no centro da Europa, levaram, por um lado, à importação de um tipo de edifício que não melhorou muito a qualidade e em muitos casos feriu até significativamente a paisagem não tanto pela cópia da própria forma das casas com telhados íngremes para uma neve que nunca teremos mas pela anarquia da sua implantação perante a condescendência das autoridades que justificavam a não interferência/aconselhamento com o facto de 'o dinheiro ser deles' (sic).

Entretanto, pelo lado positivo, aquela interação trouxe mais poder de compra às famílias de muitas áreas social e economicamente deprimidas do nosso país e facilitou o acesso a meios de melhoria do conforto no interior. Esta melhoria, que era inicialmente à base da biomassa (lareira, braseira, salamandras e botijas, Figura 20) passou progressivamente ao gás natural e à eletricidade. Daqui, como as casas eram muito deficientes em termos de construção e, conseqüentemente, de conforto, a transferência da obtenção do calor centrada na biomassa passou para a eletricidade e para o gás com custos até aí incomuns e, em muitos casos, insuportáveis. Referia-se atrás que, em Portugal, o Governo anunciava na primavera de 2017 que tinha 30 milhões de euros para a eficiência energética nos edifícios. E se fosse para a suficiência, nomeadamente, através dos isolamentos? Isto mostra que os processos de modernização em Portugal esbanjam muitos recursos por má focalização nos objetivos. Não há cultura nesta matéria. E se formos ver as vicissitudes dos regulamentos relativos à energia nos edifícios em Portugal (1991-...) desde uma pré-histórica recusa do LNEC em 1981, com resistência ao próprio Ministro das Obras Públicas, em avançar por um regulamento proposto pelo CSOPT²⁵ até às tropelias operadas em diplomas em gabinetes ministeriais

25 Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes

que condenaram radicalmente a aplicação de um Decreto-Lei nos anos 90 e, mais recentemente, a verdadeira cacofonia sobre a temática da certificação energética dos edifícios feita refém de um grupo de *experts* mais aptos a verificar quem ganhou com 12 do que a promover o acerto no 13.

Daí sai o discurso invertido e ligeiro – aliás, endémico quando se abordam os temas da energia em Portugal – com duas vertentes ignoradas pelos arautos:

a) A energia é cara para os portugueses porque as casas são verdadeiros crivos permeáveis ao ar e, em geral, mal localizadas e mal construídas, e não valorizam a amenidade do clima no interior, no seu isolamento térmico, na sua orientação e na orientação das aberturas levando a faturas desproporcionadas.

Veja-se a título de exemplo, a figura do que se passou na Baviera, Alemanha (Figura 21). A melhoria do isolamento levou à redução drástica das necessidades de energia para o aquecimento. Note-se em particular a rapidez do impacto em 20 anos do isolamento térmico *versus o das tecnologias solares...*

Porque não em Portugal?

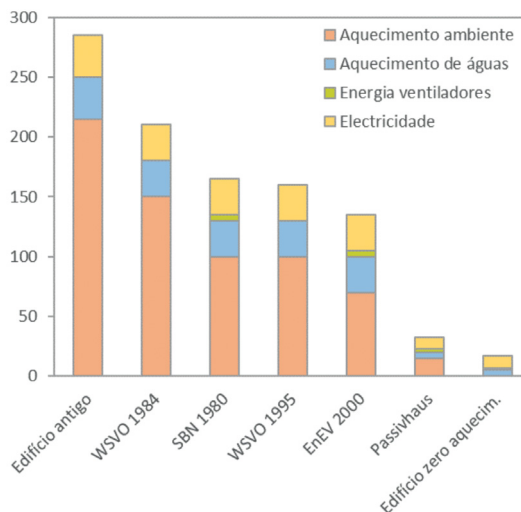


Figura 21 Progressão das últimas décadas e estimativas das necessidades energéticas para diversas funções na Baviera (Alemanha). É notável a grande evolução acontecer nas necessidades de aquecimento ambiente (ver legenda), fruto de um foco das intervenções ao nível do comportamento passivo dos edifícios, nomeadamente, pelo isolamento térmico.

b) Então, na sequência da corruptela acima alimentada por pessoas simples, umas, e oportunistas, outras, e promovida por agentes sem escrúpulos, surgem fenómenos extremos como os da Parque Escolar (a partir de 2007) em que se instalou ar condicionado em centenas de escolas onde as janelas de abrir foram banidas para impedir que interferissem na operação do equipamento. Escolas com janelas seladas? E quando o Município não tem dinheiro para a eletricidade do ar condicionado e se abre a porta da sala no fim da aula e sai do interior um odor a humano, no dizer de um respeitável Administrador da Parque Escolar com alma, que não se imagina quão más são as condições de aprendizagem das crianças num ambiente assim, onde a concentração de CO₂ deveria ser de 1200/1500 ppm, mas nestas condições poderá facilmente atingir os 3000 ppm ou mais...

Fruto do período intenso de grande construção no último meio século, o parque edificado atual é constituído por cerca de dois terços dos edifícios com mais de 25 anos (Figura 22), isto é, como se verá na próxima secção, com uma construção pobre e anterior à implementação de qualquer regulamentação para o comportamento térmico de edifícios. Mas, claro, os equipamentos passaram a “andar por aí”, e a capacidade de discriminar a relevância do uso de cada um não é ilustrada nem justificada. Há muitas casas em Portugal com equipamento de ar condicionado em quartos/salas cujas paredes são de blocos de pedra sem qualquer isolamento térmico. E mesmo, sem qualquer reboco interior ou exterior. E não seria melhor instalar primeiro isolamento nesses casos? E quem vela por isso, desde logo deve pugnar por uma informação persistente e consistente de preferência a expressões ambíguas como é a da ‘eficiência energética dos edifícios’...

Nas condições descritas, como não haver admiração pelos custos da energia que poderiam em última instância e sem cinismo, levar a escolhas mais sensatas?

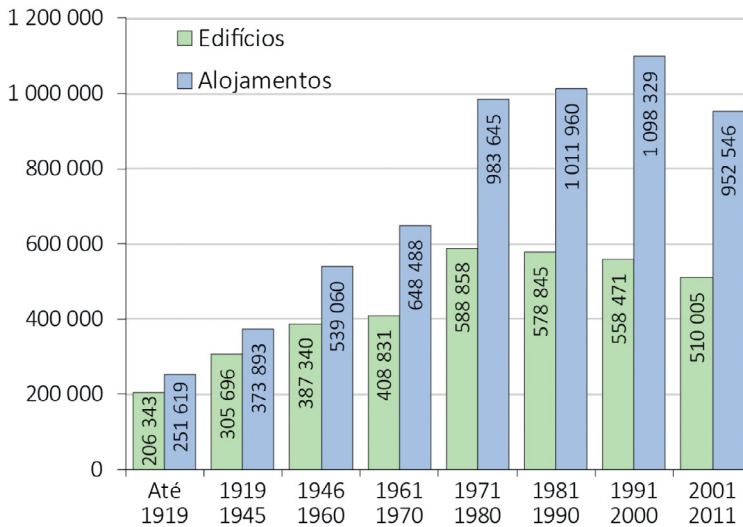


Figura 22 Constituição do parque edificado português por período de construção nos Censos de 2011.

3.2. Desempenho Energético do Parque Edificado

O histórico que se deixa acima não pode senão estar refletido quando se analisam os resultados presentes na base de dados do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE). Com efeito, uma análise da repartição das classes energéticas por período de construção (Tabela 2), determinadas com os critérios do SCE (versão 2016), mostra três grandes períodos com características distintas. O edificado da primeira metade do século XX, é, termicamente, realmente mau, com cerca de metade dos edifícios certificados a merecerem uma classificação de F, a pior da escala. Durante este período, muito raros são os edifícios que cumprem os requisitos que atualmente são considerados os mínimos aceitáveis pela legislação para edifícios novos (correspondentes à classe B-) ou até para edifícios reabilitados (classe mínima C). Isto há 15 anos. Como se vê, com grande sucesso!

O período seguinte ocorre entre os anos 60 e o virar do século. Os edifícios construídos nesta altura já apresentam algumas melhorias face ao período anterior. As classes mais proeminentes deixam de ser a F e passam a ser a D e a E, certamente ainda aquém do desejável do ponto de vista do conforto térmico e suficiência da energia para aquecimento ambiente.

Tabela 2 Distribuição das classes energéticas dos edifícios avaliados no SCE para cada período de construção.

	Classe energética							
	A+	A	B	B-	C	D	E	F
Até 1919	0%	1%	0%	0%	18%	25%	29%	27%
1919 - 1945	0%	0%	1%	0%	8%	20%	24%	47%
1946 - 1960	0%	0%	1%	2%	9%	21%	25%	41%
1961 - 1970	0%	0%	0%	1%	13%	32%	26%	28%
1971 - 1980	0%	0%	0%	2%	14%	36%	27%	20%
1981 - 1990	0%	0%	1%	2%	16%	37%	27%	18%
1991 - 1995	0%	0%	0%	1%	18%	38%	26%	16%
1996 - 2000	0%	1%	1%	2%	23%	35%	24%	14%
2001 - 2005	0%	1%	2%	6%	33%	33%	17%	8%
Após 2005	5%	12%	17%	15%	28%	13%	6%	3%



Figura 23 Desagregação do parque construído em termos de classes energéticas e por ano de construção. Amostra de certificados emitidos em maio de 2016 (Fonte: ADENE).

Uma inflexão começa a fazer-se notar ainda na segunda metade dos anos 90 mas torna-se evidente então de 2000 em diante, fruto quer do primeiro regulamento de construção em Portugal em 1991 (RCCTE)²⁶, com subsequentes melhorias, quer depois mais tarde pela transposição da diretiva europeia para o desempenho energéticos dos edifícios (Parlamento Europeu e do Conselho, 2010) e a entrada em vigor do SCE.

Esse percurso mais recente fica mais evidente na Figura 23 onde se mostra de forma gráfica o declínio, no início dos anos 90, do número de edifícios com classe energética D ou pior, transitando principalmente para edifícios de classe C (claro resultado de implementação do RCCTE), seguido depois mais tarde por declínio semelhante então dos edifícios de classe C substituídos pelas classes B e A.

A corrente legislação para o desempenho energético dos edifícios residenciais (REH), deixa claro que o futuro próximo trará continuadas melhorias do parque edificado. Contudo, Portugal padece ainda de um parque edificado geralmente de baixa qualidade. Acresce que devido aos longos tempos de vida dos edifícios as taxas de substituição do parque edificado são baixas, rondando normalmente os 1 a 2% ao ano. O resultado desta realidade faz-se sentir nas condições de défice de conforto interior e nas múltiplas patologias verificadas nos edifícios, ambas com impactos significativos na saúde, longevidade e qualidade de vida dos cidadãos.

²⁶ Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril

4. Construir com o Clima e o Lugar

4.1. Valores históricos de temperatura e humidade

O posicionamento geográfico de Portugal, em alinhamento com o mar Mediterrânico e com grande extensão de costa com o Oceano Atlântico a Oeste, numa região onde ainda é intensa a influência das águas mornas da Corrente do Golfo do México e do anticiclone dos Açores, contribui para a

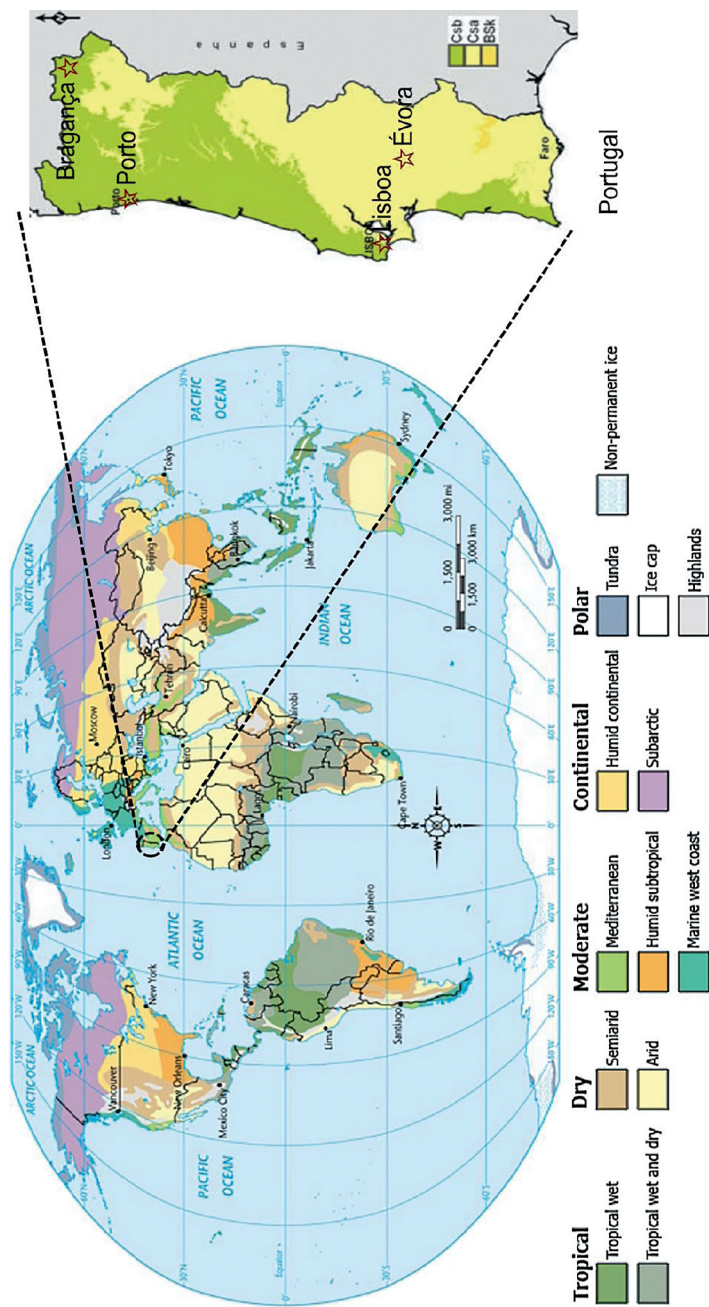


Figura 24 Portugal apresenta em praticamente todo o seu território um clima temperado (classificação C na escala de Köppen) com verões secos e quentes. Esta tipologia de clima encontra-se maioritariamente em torno do Mar Mediterrânico, bem como no Sudoeste da Austrália, na costa Ocidental dos Estados Unidos, zona central do Chile, entre algumas outras regiões em África e Ásia Central e Ocidental.

amenidade do seu clima. Na classificação climática mais usada (de Köppen) praticamente todo o território pertence ao denominado clima Mediterrânico (Csa e Csb nessa classificação - Figura 24), caracterizado por invernos amenos e chuvosos e verões secos e amenos ou quentes.

Esta amenidade reflete-se perfeitamente nas tendências climatéricas de longo prazo a nível nacional, com temperaturas médias mensais a variar entre os cerca de 5°C para a mínima diária no inverno e os 29°C de média das máximas no verão (Figura 25). Simultaneamente, os níveis de humidade relativa tendem a variar em sentido inverso às temperaturas, atingindo os seus valores máximos nos cerca de 85% no pico do inverno e descendo aos 55% no pico do verão. Esta é uma das características típicas dos climas Mediterrânicos onde quase nunca se verificam condições de simultaneidade de temperaturas elevadas conjugadas com humidades relativas também elevadas. Como se discutirá mais tarde, este aspeto favorece, em geral, a dispensa de sistemas de ar-condicionado ou climatização durante a época mais quente pois mesmo quando as temperaturas são elevadas a baixa humidade promove uma evaporação rápida e eficaz do corpo que se repercute numa capacidade acrescida de dissipação de calor do corpo e consequente manutenção de um estágio de conforto térmico.

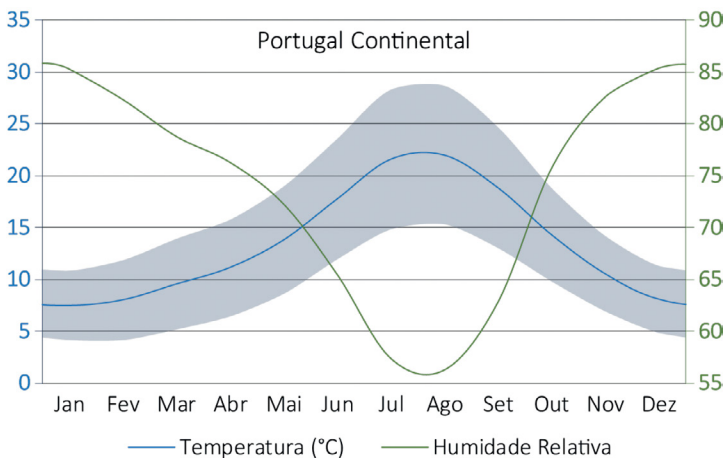


Figura 25 Valores médios mensais históricos (30 anos, de 1971 a 2000) para as temperaturas e humidades relativas do ar em Portugal Continental (fonte: IPMA).

É certo que, no curto prazo, a variabilidade das condições climatéricas é naturalmente superior à imagem transparecida pelos valores das médias.

Contudo, num E^2PA essa variabilidade deve ser facilmente acomodada sem impacto significativo devido ao efeito conjunto de níveis elevados de isolamento térmico e de inércia térmica dos espaços interiores, reduzindo, por um lado, a sensibilidade do edifício à variação das temperaturas exteriores e, por outro, assegurando bastante armazenamento térmico no interior.

Apesar desta resiliência térmica de um E^2PA às variações dos parâmetros meteorológicos naturais de curta duração relativamente às condições climáticas médias de longo prazo, o papel do microclima local deve ser considerado ao nível do projeto e do dimensionamento de determinadas soluções técnicas. Nesta perspetiva climática, a própria regulamentação²⁷ divide o país em três zonas de inverno e igual número para o verão (Figura 26), usando como critérios de divisão o número de graus-dia de aquecimento (para uma temperatura de referência de 18°C) ou a temperatura média do ar exterior durante a época de arrefecimento, respetivamente.

Esta divisão em zonas climáticas segue, em geral, a divisão da classificação de Köppen acima (Figura 24), verificando-se em ambas que o sistema montanhoso de Montejunto-Estrela e o rio Tejo marcam uma separação entre a metade Norte do país, com verões amenos e invernos geralmente mais rigorosos, e a zona Sul onde os verões são mais intensos e os invernos mais amenos.

Além da divisão em linhas grossas do país nas zonas climáticas acima, o próprio sistema de cálculo regulamentar propõe ainda o cálculo com um nível de detalhe adicional para cada localização específica, quer dos graus-dia durante a época de aquecimento quer da temperatura média exterior na época de arrefecimento, quer ainda da duração da época de aquecimento, usando-se para isso a altitude a que estará um edifício e usando-se um sistema de correção tabelado no documento legal. Assim, mesmo numa zona I2, por exemplo, podem existir lugares que se classifiquem como I1 e outros como I3, devido ao fator de elevação face ao nível médio do mar.

Contudo, enquanto o cálculo regulamentar deverá constituir uma base de decisão adequada para dimensionamento de soluções no desenho de arquitetura e nas opções técnicas, é também importante que haja uma perceção do microclima local que não é capturada com suficiente detalhe nos documentos legais. Um caso particularmente relevante é o de casas em vales atravessados por rios que tendem a estar vários graus mais

²⁷ Despacho n.15793-F/2013. D.R. n.234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03.

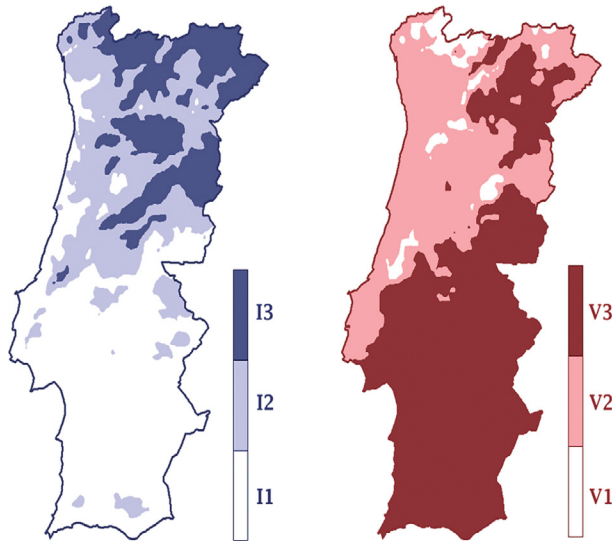


Figura 26 Zonas climáticas de Inverno (esquerda) e Verão (direita) de acordo com a regulamentação nacional Portuguesa.

frios/frescos do que outros locais por vezes a poucas centenas de metros de distância. E a este fator muitas vezes se adiciona ainda menor insolação (por via de sombreamento de vertentes e escarpas ou até de vegetação mais frondosa) e níveis mais elevados de humidade relativa (quer por efeito da evaporação natural da água próxima quer pelas temperaturas mais baixas do ar se refletirem numa maior proximidade às condições de saturação do ar e condensação). Nestes casos em particular, é relevante ter um cuidado adicional no projeto para considerar o potencial impacto das condições microclimáticas locais específicas, em particular nas condições favoráveis a fungos e bolores devidas a maior humidade relativa.

4.2. Valorização do Conforto Adaptativo

Qualquer exercício de projeto de um edifício de E^2PA deverá ter presentes os aspetos de microclima discutidos acima, desde logo porque estes determinam um conjunto de requisitos mínimos que têm de ser respeitados ao nível da térmica, como sejam, por exemplo, as necessidades mínimas de isolamento térmico das fachadas e envidraçados, ou a eficácia do sombreamento adequado no verão e correto controlo dos ganhos solares excessivos, entre outros.

Esse exercício deverá refletir-se numa adequação do projeto ao microclima local, sempre numa perspetiva de conforto adaptativo. Isto quer dizer que este vai além dos princípios, valores e objetivos que alimentaram as regulamentações. Assim, enquanto os processos de cálculo inerentes ao projeto térmico do edifício seguem um conjunto de critérios nominais que foram estabelecidos numa lógica de comparabilidade de resultados (o que faz sentido num sistema que se quer de referência e que tenha impacto no mercado imobiliário em geral), o projeto de um E^2PA deve poder acomodar e resistir melhor às variações naturais das condições de conforto nos espaços e às potencialidades do clima. Tal desígnio consegue-se, em sua grande extensão, através da implementação dos princípios da suficiência energética (cap. 2.5.2), aproveitando tanto quanto possível os ganhos solares úteis e evitando os excessivos (cap. 5.2), conjugando ainda com armazenamento térmico (cap. 5.3), e com uma ventilação suficiente (cap. 2.8.2) e inteligente (cap. 6.1). Implementada esta base, garante-se que as perdas térmicas pela envolvente são minimizadas (mesmo quando os diferenciais térmicos são mais extremos), que se aquecem os espaços com calor gratuito do Sol (bastante disponível em Portugal), que esse calor é armazenado no interior e disponibilizado quando necessário (assim vencendo-se as amplitudes térmicas diárias), e que a ventilação se faz na medida das reais necessidades e nos períodos mais adequados face às condições exteriores. E isto deverá resultar muito próximo de assegurar condições de salubridade e conforto nos espaços interiores, principalmente se os residentes incorporarem os valores do conforto adaptativo (cap. 2.7), isto é, adotando uma atitude de procura de acomodação própria às condições interiores antes de procurar o apoio dos equipamentos.

Já nos anos 60, disparou a revolução do conforto térmico, pouco depois confrontada com a escassez e o preço dos combustíveis que abriu o palco às tecnologias solares no último quartil do século XX. A Conferência ICBEM (*International Congress on Building's Energy Management*) em maio de 1980 na Póvoa de Varzim (de Oliveira Fernandes, 1980) reuniu em Portugal a nata mundial dos precursores dessa revolução que envolvia enfoques em temas como: conforto e climatização e tecnologias solares passivas e ativas, e tecnologias de aquecimento e climatização, atenta a economia, e almejando o conforto higratérmico, como antecâmara da saúde, do bem-estar e da produtividade. Se os últimos 50 anos permitiram uma revolução tecnológica na consecução das condições de conforto nos edifícios, incluindo a qualidade do ar, pela via dos materiais limpos e das tecnologias na construção, facto é que a globalização das trocas no comércio internacional e as políticas regionais (CE, por exemplo) levaram a uma

certa desconsideração da relevância dos efeitos das diferenças climáticas no planejar e no construir das cidades e de cada edifício. A título de ilustração, a corrida aos equipamentos de aquecimento e, por arrasto, também de arrefecimento, do ambiente interior por parte dos povos da orla mediterrânica foi induzida a partir de meados do século XX com base em duas corruptelas apoiadas pelas políticas públicas da CE e pela agressividade oportunista dos mercados: 1. os povos dos climas temperados avançaram para o aquecimento artificial antes mesmo de procurarem melhorar as envolventes das suas casas e, 2. deixaram-se envolver na aquisição consumista de equipamentos de arrefecimento, vulgo ar condicionado, sem que as condições climáticas, como se viu acima, justificassem tal necessidade já que o clima da Europa não apresenta valores elevados simultâneos de temperatura e de humidade relativa como, por exemplo, nos trópicos.

Notável é que em 2022 pouco ou nada se haja evoluído na gestão da obsessão pelo 'ar condicionado'.

4.3. Solo, Orografia e Implantação do Edifício

Há uma dimensão estética, cultural e até ética, porque energético-ambiental, implícita na forma como se escolhe implantar os edifícios no terreno e na paisagem.

A primeira e mais primordial questão é se se deve construir ou não em determinado lugar. É necessário? Há outros locais onde o construir causará menos impacto no ambiente?

Nesse sentido, construir em terrenos já transformados por usos anteriores que deixaram as suas marcas, sejam fundações antigas, sejam resíduos e contaminação (*brownfields* na língua inglesa), é quase sempre preferível a ocupar um terreno virgem, especialmente quando este tem potencial agrícola e, em particular, valor ecológico.

Em qualquer propriedade na qual se planeia construir, em particular quando tem uma extensão apreciável, haverá solos com maior ou menor valor agrícola ou ecológico, que em geral não estarão compreendidos em áreas demarcadas e protegidas formalmente pelos instrumentos de gestão do território. Há aí oportunidades de voluntarismo no exercício de juízos de valor informados e inclusive economicamente justificados num horizonte temporal mais alargado. A qualidade dos solos é um fator a incluir com relevo nas condicionantes da implantação de novas construções.

Tomada a decisão de construir num local, impõe-se então a questão do 'como'. Aqui há filosofias distintas e até antagónicas: afirmar a singularidade do construído em relação ao meio, ou procurar que a intervenção deixe a menor marca possível sobre a paisagem? No segundo caso, que será nos ambientes rurais quase sempre preferível, há que fazer uso de todos os recursos da cultura, da arte e da técnica para integrar a construção na paisagem. Visualmente, podem-se considerar estratégias de minimização do impacto, assim como estratégias miméticas. Materiais, texturas e cores, volumes, orientações e cotas de implantação são algumas das variáveis de projeto a explorar.

Volumetrias em altura ou com desenvolvimento horizontal, concentração em poucos volumes ou fragmentação em múltiplos volumes menores, formas compactas ou formas dendríticas, são opções que em cada caso devem ser avaliadas e para as quais há repercussões que vão além da paisagem e que incluem o uso e a física das construções²⁸.

A implantação em declives oferece sempre interessantes possibilidades de reduzir o impacto visual e de explorar o potencial inigualável do solo em termos de inércia térmica de escala sazonal. Contrapõe-se o interesse em minimizar o volume dos movimentos de terras e, quando existam, realizar a gestão correta dos volumes escavados separando as fases férteis e/ou com outras propriedades (por exemplo, de permeabilidade) para uso posterior. Claro, neste caso, pesa a problemática da exposição ao Sol. Por alguma razão os depósitos de Vinho do Porto foram há séculos estabelecidos em Gaia. Com efeito, o Sol quase nunca impacta nas celas e quando incide é quase tangente à inclinação dos telhados...

Ainda no plano do mimetismo e da minimização, as coberturas verdes comparecem a fazer do edifício e do seu entorno um *continuum* e a devolver ao bioma o espaço que lhe foi subtraído para a construção. No plano construtivo e tecnológico as coberturas vegetais contribuem para elevar a inércia e o isolamento térmico e, com uma pormenorização correta da drenagem e cuidado na escolha das espécies vegetais, conferem proteção sem igual às membranas de impermeabilização e à durabilidade das

²⁸ Um edifício com uma geometria mais complexa tenderá a ter um fator de forma superior ao de uma forma compacta (i.e., o rácio entre a área de envolvente exterior por unidade de área útil ou de volume interno). Consequentemente, esse edifício tenderá também a apresentar perdas térmicas por área útil maiores (mas porventura compensáveis com espessuras de isolamento maiores ou com maiores ganhos solares se parte do excedente da área envolvente for aproveitada para esse fim). Outros aspetos energeticamente relevantes que podem ser considerados incluem: auto sombreamento, distribuição de pressões com ventos, iluminação natural indireta, entre outros.

coberturas. No entanto, tal pode também significar excesso de humidade no inverno e, em todo o caso, um 'remendo' ecológico mais do que uma expressão ecológica do edificado...

O coberto paisagístico de proximidade e a arborização, em particular, devem ser conjugados judiciosamente com a orografia e as escolhas de implantação, complementando-as e colmatando-as. Em tantas situações e circunstâncias concretas será aliás a arborização o elemento corretor dos agravos à paisagem que a construção possa inevitavelmente acarretar.

A arborização é também um dos elementos geradores do sombreamento, modificando a exposição conferida pela orografia e pelas volumetrias. Sendo a sombra desejável para certos fins e indesejável para outros, conforme o objeto a desenhar e as orientações específicas do terreno, deverá ser selecionada/desenhada inteligentemente para conferir o grau correto de proteção a cada abertura e cada espaço exterior, completando o microclima que se deseja criar em cada local e para cada época do ano.

Entretanto, a implantação é o momento maior do processo de decisão que mais fortemente condicionará o potencial das edificações, quer para o aproveitamento da radiação solar, quer da ventilação natural – ainda que a conversão desse potencial em atualidade requeira também uma execução correta em termos de arquitetura e em termos de pormenorização.

Assim, as escolhas de implantação, de arquitetura e de projeto da paisagem devem ser informadas por prévios estudos de clima e microclima, para os quais os recursos de sensorização e computacionais hoje disponíveis abrem possibilidades que não existiam ainda há poucos anos e, igualmente importante, tendo avançado também o conhecimento de estratégias eficazes de projeto com e para os microclimas.

A iluminação artificial exterior deverá permitir a minimização da poluição luminosa noturna. Deverá ser limitada, contida e direcionada, orientada sobretudo para a demarcação dos caminhos e dos lugares de permanência e não extravasar nem para o céu nem para os espaços abertos onde o período noturno é aquele preferido pela maior parte das espécies vivas.

Em conjuntos maiores que aproximem as escalas do desenho urbano, a mobilidade deve ser uma consideração importante nas decisões de implantação. Facilitar-se-á a mobilidade sem automóvel, feito prioritário, com percursos interiores, mais curtos e mais protegidos, enquanto os automóveis deverão circular periféricamente e os seus locais de estacionamento

deverão ter o menor impacto e presença possível, recorrendo para isso a barreiras visuais e acústicas e, inclusive, considerando-se a possibilidade de exclusão ou de condicionamento espacial e temporal.

Alguns dos benefícios almejados acima são intangíveis e invisíveis; outros são intangíveis, mas perceptíveis diretamente pelos sentidos; outros podem ainda ser apreciados subjetivamente na presença da informação e da cultura de base; finalmente, há os benefícios que podem ser contabilizados objetivamente, e que o serão na metodologia que se está a desenhar para esta iniciativa.

4.4. Organização dos Espaços

É habitual encontrar nos guias de arquitetura bioclimática recomendações a que os espaços da habitação sejam organizados em planta segundo critérios ditos de zonamento térmico. Interessa aprofundar e avaliar criticamente estas recomendações.

O zonamento climático intra-habitação compreende, na sua forma mais simples, a distribuição de espaços segundo uma lógica de acesso prioritário ao sol. Assume-se serem os compartimentos de permanência prolongada aqueles que justificam a prioridade no acesso ao sol, sendo então enfileirados ao longo do alçado ou alçados mais soalheiros. Os compartimentos húmidos, espaços de circulação, arrecadações, etc. são dispostos nos alçados desprovidos de sol no período de inverno, constituindo assim espaços de transição térmica a separar o exterior dos compartimentos interiores habitados.

Este esquema de organização em planta tem tanta mais coerência quanto mais a latitude é elevada e o clima é frio, mas soalheiro. Em zonas não urbanas, onde a direção local do vento tende a refletir a circulação de larga escala, acresce ainda que os ventos dominantes no inverno tendem a provir do quadrante oposto ao do percurso solar. Nessas circunstâncias tem especial eficácia uma organização da habitação onde o alçado soalheiro é dominado por envidraçados importantes otimizados para os ganhos solares diretos e o alçado oposto tem poucas ou nenhuma aberturas, está adossado ao terreno e comunica com espaços não habitados.

Muitas circunstâncias podem (e vão) negar essa clareza de organização em climas e em contextos menos diagramáticos.

Primeiramente, interessa notar que, nos climas com invernos amenos, o verão e as estações intermédias merecem a mesma atenção que o inverno na otimização térmica da habitação. A orientação soalheira mantém sempre o interesse, dado também quão facilmente pode ser protegida do sol através de dispositivos fixos que não impedem o acesso à visão do exterior. No entanto, a prática moderna, que acentua valores mais altos de isolamento térmico da envolvente, permite nestes climas preencher a necessidade de ganhos solares úteis com áreas envidraçadas modestas, mesmo quando a orientação não é ideal. Assim, as decisões de zonamento são flexibilizadas em conformidade, e poderão privilegiar orientações para os compartimentos de permanência prolongada que, caso-a-caso, são decididas pela relação com espaços exteriores contíguos, ou a direção com mais interesse visual, o horizonte mais distante ou o panorama mais aberto ou ainda as orientações mais adequadas à boa ventilação no período soalheiro. Concomitantemente, os espaços de barreira poderão ser dispostos em função de outros critérios como seja, por exemplo, a proteção contra as principais fontes locais de ruído exterior.

A ventilação dos espaços da habitação merece um comentário mais desenvolvido e circunstanciado. A normativa atual assume que a ventilação natural nas habitações se dá em circunstâncias tais que o fluxo de ventilação tem um sentido definido, com admissão nos compartimentos habitados e exaustão pelos compartimentos húmidos, processando-se este movimento também sem causar interferência na operação dos aparelhos de combustão se estes existirem na habitação. Estas assunções pressupõem uma certa distribuição relativa de pressões dentro e fora da habitação que a simples existência de dispositivos de admissão regulada podem não garantir, pois é função em primeiro lugar da circulação atmosférica exterior²⁹. Há que ter em atenção a variabilidade do vento, a qual não é arbitrária, mas é condicionada por fenómenos macro. Trata-se aqui menos da direção predominante do vento em termos de média estatística e mais de compreender

29 A ideia e argumento a favor da necessidade de recorrer à ventilação mecânica como forma de garantir valores específicos de taxas de renovação de ar é frequentemente mal informada e míope, baseado numa ideia errada dos valores e princípios que devem de facto reger a qualidade do ar interior. Desde logo, a qualidade do ar interior não é uma medida discreta e menos ainda binária. Por outro lado, o que é relevante do ponto de vista da saúde são as médias de longo prazo e a exposição efetiva, e não as concentrações pontuais. Há, portanto, flexibilidade no sistema que permite acomodar variações relativamente amplas das condições no ar interior sem que estas se reflitam necessariamente em efeitos negativos para a saúde. Assim, apesar dos desafios técnicos inerentes à ventilação natural (em particular a aparente falta de controlo), uma abordagem consciente e informada bem como um bom desenho e operação das aberturas e vãos na envolvente (automática ou manual), porventura acoplada à extração forçada para as ocasiões em que a dinâmica de fluidos não favoreça a ventilação natural, deverá ser suficiente para garantir uma qualidade do ar interior adequada (ver capítulos 2.8 e 6).

que na maior parte dos locais o regime de ventos tem uma componente diária importante que está associada à insolação. Assim, nas zonas costeiras, a direção do vento e a insolação são um conjugado regular para certas situações sinóticas, e pode-se projetar cientificamente a ventilação natural para amenizar e distribuir os excessos de calor. Adicionalmente, em zonas abertas, a direção do vento é afetada de forma consistente e previsível pelas características da orografia local. Em tais circunstâncias o desenho das aberturas de admissão de ar e de exaustão pode ser feita de modo a evitar toda interferência negativa e assegurar direções definidas para a ventilação cruzada na habitação (ver cap. 6).

No âmbito das zonas densamente urbanizadas, por contraste, tal controlo é problemático dado que a turbulência e os obstáculos próximos tornam difícil ou impossível contar com uma certa distribuição de pressões. Pela positiva tem-se apenas o facto de que o ambiente urbano, quando uniforme em altura e tipologias, tende a moderar e distribuir a intensidade variável dos ventos, produzindo condições relativamente protegidas e propícias à ventilação natural sempre que não haja marasmo sinótico.

Os ambientes urbanos onde há grandes diferenças de altura entre construções contíguas, edifícios de grande volumetria e/ou fachadas muito extensas, características estas que infelizmente descrevem muitas zonas urbanas novas ou recentes, tendem a produzir os efeitos opostos, exacerbando os excessos da circulação atmosférica e criando turbulência, rajadas e variabilidade extrema, inviabilizando o uso controlado da ventilação natural nas habitações.

Sumariando, o zonamento térmico do edificado, nomeadamente nas habitações, é, portanto, um tema mais complexo do que aparenta, sendo afetado por prioridades que se invertem conforme a latitude, o clima, o entorno, o contexto, o custo e as próprias intenções do projeto.

4.5. Acessibilidade e Proximidade a Serviços

Uma outra componente do impacto ambiental de um edifício, porventura menos considerada habitualmente, prende-se com as distâncias que os seus residentes terão que percorrer para terem acesso, desde logo, quer aos locais de emprego e escolas, quer aos serviços diversos necessários para a sua vivência. É certo que esta questão, a nível individual, só se poderá colocar numa fase em que ainda não haja sido determinado um local

para a construção do edifício, o que raramente é o caso. Também terá mais relevância para habitações de ocupação habitual e praticamente nenhuma em casas de férias ou de ocupação esporádica. Contudo, quando essa possibilidade se coloque, deverá sempre dar-se alguma consideração e importância à proximidade do edifício, às infraestruturas e comodidades mais necessárias para que os subsequentes impactos em termos de transportes se possam minimizar. E isto inclui também a possibilidade de pelo menos parte dos percursos se poderem fazer em modos leves (a pé ou de bicicleta) ou em transportes públicos. Estas considerações são particularmente relevantes ao nível urbanístico e no planeamento do zonamento urbano, onde soluções como as '15 minute cities', que promovem uma organização de proximidade residencial/serviços que favorece o movimento pedestre ou por modos leves de transporte, se têm vindo a propor e a ser adotadas natural ou experimentalmente em diversas cidades, ainda que a ritmo lento.

Um exemplo paradigmático em que estas considerações não foram tidas em conta, com repercussões que ainda hoje têm um impacto ambiental elevado, pode encontrar-se na denominada '*urban sprawl*'. Promoveram-se áreas suburbanas monofuncionais, praticamente só com ocupação residencial, na periferia dos centros urbanos, e com isso vêem-se todos os seus residentes obrigados a percorrer vários quilómetros mesmo para as coisas mais simples como ir às compras de mercearias básicas. Muitas dessas áreas não chegam a ter dimensão ou densidade suficiente para viabilizar economicamente serviços de transportes públicos ou outros serviços de comércio e lazer, ficam demasiado longe dos centros urbanos para permitirem o uso de modos leves de mobilidade, e assim obrigam os residentes a recorrer ao automóvel como única alternativa, com consequentes impactos quer ao nível das emissões quer no tempo de vida passado em trânsito.

Como fica claro, esta é uma vertente em que as responsabilidades dos departamentos de planeamento urbano dos municípios têm particular impacto, verificando-se frequentemente um alheamento injustificável por parte das cidades sobre estas matérias, bem como cedências aos interesses de aproveitamento financeiro por parte daqueles que, tendo os meios, procuram pressionar (geralmente com sucesso) as autoridades decisoras a permitir avançar com soluções de urbanismo que nunca deveriam ser permitidas porque favorecem um alastramento doente e incongruente do meio urbano.

5. Física Térmica dos Edifícios

O caminho para obter um E^2PA passa, desde logo, por analisá-lo como um sistema energético (ver 2.2) e garantir que, enquanto tal, é projetado de forma equilibrada, pesando adequadamente todos os fluxos térmicos de energia *in and out* com o ambiente local (Figura 27), nomeadamente:

- ganhos radiativos solares (1), particularmente, por vãos envidraçados (úteis e a aproveitar no período do aquecimento, mas potencialmente prejudiciais ou inconvenientes fora daquele);
- ganhos internos (5, 6 e 7) (desde logo pela presença dos ocupantes e suas atividades, mas também resultantes do funcionamento de todos os dispositivos elétricos ou processos exotérmicos);
- perdas térmicas por condução (2) (e ganhos, embora porventura menos frequentes) pela envolvente quer diretamente em contacto com o exterior quer através de espaços não aquecidos;
- perdas por radiação por vãos transparentes (principalmente sob a forma de radiação infravermelha durante o período noturno);
- perdas (mas possivelmente também ganhos) por processos de renovação do ar/ventilação (3 e 4) (preferencialmente natural, ou por infiltração).

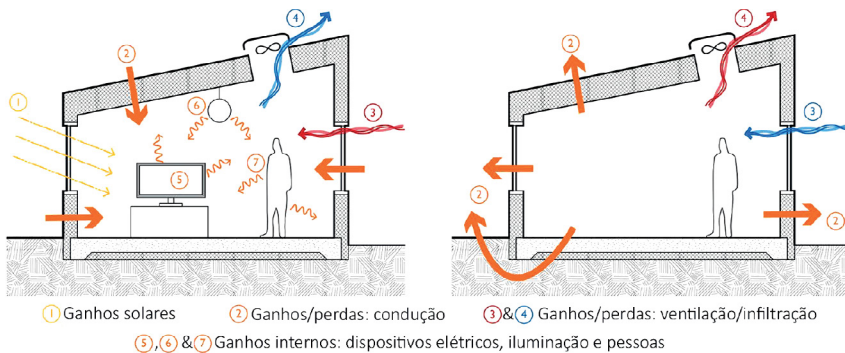


Figura 27 Representação esquemática das diversas vias de ganhos e perdas térmicas nos edifícios (fonte: sefaira.com).

No fundo quer-se que o volume interno do edifício, definido pela sua envolvente, mantenha uma determinada quantidade armazenada de calor (no ar, nas estruturas do edifício e nos objetos), que resulte em temperaturas operacionais geralmente consistentes com os valores do conforto adaptativo, sabendo-se que, em simultâneo, existirão constantemente fluxos energéticos (e de massa) pela fronteira do sistema (por condução, convecção e radiação) e conversões energéticas no seu interior (gerando ganhos internos). Assim, o grande desafio e objetivo de desenhar edifícios que tenham um

desempenho passivo prende-se com o equilíbrio entre perdas e ganhos ao longo das estações, considerando: 1. as oportunidades específicas de captação (e moderação) da energia solar para o edifício em causa; 2. as necessidades de ventilação associadas à ocupação humana; e, 3. moderando as perdas térmicas pela envolvente para que se atinja um equilíbrio adequado face ao potencial local de ganhos.

Num edifício E^2PA no clima com o potencial do de Portugal, o cumprimento dos requisitos de conforto térmico no interior dos edifícios pode e deve ser atingido, tanto quanto possível, através da dinâmica de fluxos térmicos naturais (passivos). Isto é, o comportamento passivo do edifício, potenciado por ações dos ocupantes e sistemas de controlo, pode e deve corresponder, em grande medida (e sem a necessidade absoluta do recurso a equipamentos de climatização), às necessidades do conforto adaptativo assegurando a qualidade do ar e o conforto térmico, visual e acústico.

Em todo o caso, nunca a abordagem deverá ser de exclusão mútua de opções. Será sempre melhor reduzir a dimensão dos equipamentos e dispor deles sempre que se antecipe uma certa dúvida ou 'insegurança' por parte dos futuros utentes. No entanto, mesmo nesse caso, é possível hoje, face a uma determinada solução de E^2PA , antecipar a necessidade de equipamento de climatização com suficiente segurança. E, em última análise, assegurando as duas abordagens geridas através da estratégia de prioridades e oportunidades de entrada em ação dos respetivos equipamentos. Esta abordagem gradualista é essencial porque é racional e, não sendo negatísta, inspira confiança e permite que em termos sociais haja uma progressiva aproximação às soluções mais aconselháveis.

5.1. Isolamento Térmico

A condutibilidade térmica de elementos construtivos é geralmente medida pelo valor-U (em unidades de $W/m^2.K$). Este valor reflete o fluxo de calor, medido em Watts (equivalente a J/s, isto é, energia por unidade de tempo), por unidade de área e por grau Kelvin de diferencial térmico entre as faces desse elemento construtivo (geralmente, falando-se de envolvente exterior, o diferencial térmico diz respeito à diferença de temperaturas entre o ar interior e o exterior). No fundo, a termodinâmica diz-nos que a energia térmica transmitir-se-á naturalmente entre dois volumes em desequilíbrio térmico, do que esteja a temperatura mais elevada para o de temperatura mais baixa. Num elemento construtivo simples (parede, telhado, janela,

porta, laje, etc.) separando dois volumes de ar (digamos interior e exterior), esse fluxo far-se-á, simplificadaamente, pelo caminho mais curto, isto é, perpendicularmente às superfícies, atravessando todas as camadas distintas que constituam esse elemento. Numa parede, como exemplo simplificado, essas camadas podem constituir duas camadas finas de reboco (na face interior e na exterior), uma fiada de tijolo (preferencialmente junto à face da parede voltada para o interior) e uma camada de isolamento (entre o tijolo e reboco exterior). Cada uma destas camadas tem condutibilidades térmicas diferentes, características do seu material e estrutura interna, e espessuras diferentes. Assim, a “dificuldade” sentida pelo calor para atravessar a parede será constituída pelo efeito conjunto, sequencial, da resistência térmica das camadas do elemento e será tão maior quanto menor a condutibilidade dos materiais e maior a espessura destes. Esta relação expressa-se matematicamente da seguinte forma:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

$$\text{onde: } R_j = \frac{l_j}{k_j}$$

Tem-se então que o valor- U é o inverso da resistência térmica total do elemento construtivo (R_T) e que esta é calculada pelo somatório das resistências de todas as camadas (R_j). Estas, por sua vez, são proporcionais à espessura da camada (l_j) e inversamente proporcionais à condutibilidade térmica do material (geralmente indicada por k , mas por vezes indicada como λ)³⁰. Às resistências térmicas das camadas que constituem o elemento construtivo somam-se ainda duas resistências superficiais (R_{si} e R_{se} , respetivamente para superfícies em contacto com o espaço interior ou com o exterior) que refletem os efeitos de emissividade e convecção do ar junto à superfície³¹.

³⁰ Estas equações são aplicáveis aos elementos sólidos convencionais, mas não às caixas de ar não preenchidas no interior do elemento construtivo (como será o exemplo em paredes duplas em que a caixa não é cheia com isolamento térmico). Devido à complexidade dos efeitos da dinâmica de fluidos gasosos, assumem-se valores de resistência térmica por defeito (incluídos nos documentos regulamentares) para um conjunto de espessuras de camada de ar relevantes. Por exemplo, para situações em que o calor se propaga horizontalmente (isto é, por exemplo, em paredes), a resistência térmica é ignorada se a caixa de ar tiver espessura inferior a 5 mm; para espessuras superiores a 25 mm considera-se $R_{ar} = 0.18 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$; e se a espessura for de 5, 10 ou 15 mm então R_{ar} toma os valores de 0.11, 0.15 e 0.17 $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$. Para caixas de ar com mais de 300 mm, a caixa de ar é considerada como um espaço interior não aquecido.

³¹ À semelhança da abordagem para as caixas de ar, as resistências superficiais assumem-se conforme valores tabelados e regulamentares. Um cálculo detalhado da contribuição das resistências

Apesar da tendência para o uso de áreas envidraçadas cada vez maiores, tirando partido do progresso tecnológico, a envolvente opaca continua a constituir a maior fração da área de envolvente de um edifício, quer em elementos horizontais (tetos e pavimentos) e verticais (paredes, portas, aberturas), quer diretamente em contacto com o exterior, ou em contacto com outros espaços não aquecidos. A atual legislação reconhece a importância de controlar a qualidade térmica destes elementos e, para tal, estabeleceu um conjunto de requisitos mínimos para a sua transmissão térmica (Tabela 3).

Tabela 3 Excerto da Portaria n.º 379-A/2015 – Tabela I.01, referente aos requisitos mínimos admissíveis para edifícios novos em função do clima.

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			A partir de 1 de janeiro de 2016		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,40	0,35	0,30
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,60	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Coloca-se então a questão de como determinar o nível de isolamento adequado. Enquanto o custo de incrementar as espessuras de isolamento tende a aumentar de forma aproximadamente linear (acrescido de um custo-base fixo para a instalação e outros componentes), o retorno em termos de redução das perdas térmicas pela envolvente opaca tende a seguir uma

superficiais seria demasiado moroso face ao impacto relativamente modesto (mas não ignorável). Para casos de transmissão horizontal, como no exemplo da nota anterior, tem-se que $R_{se} = 0.04$ m².K/W e $R_{si} = 0.13$ m².K/W.



Figura 28 Alguns exemplos de soluções de isolamento disponíveis no mercado (fonte: ADENE).

curva inversa. Os cálculos de custo ótimo que tendem a usar este tipo de análise técnico-económica têm vindo, por exemplo, a determinar espessuras de isolamento recomendadas para Portugal que podem chegar aos 8 a 12 cm, usando materiais de isolamento comuns (Figura 28) como poliestireno expandido ou extrudado (EPS, XPS), poliuretano (PUR) ou poliisocianurato (PIR ou ISO)³². Em países com climas mais frios, é hoje típico encontrar isolamentos com mais de 30 cm de espessura. De facto, admitindo que os elementos estruturais podem contribuir pouco para a resistência térmica da envolvente e tendo em conta que a condutibilidade térmica dos materiais isolantes tende a variar entre 0.03 e 0.04 W/m.K, a Figura 28 mostra que

³² Apesar de os cálculos comumente utilizados tenderem a considerar objetivos de otimização que não são necessariamente alinhados com os de um E^2PA , os valores estabelecidos nos regulamentos atuais, mencionados na Tabela 3, procuram ir ao encontro desse ponto ótimo em que o custo adicional de envolventes com menor condutibilidade térmica ainda se repercute em retorno económico em termos de ciclo de vida do edifício. Tudo aponta para que no futuro os objetivos e requisitos do edificado venham a favorecer envolventes cada vez mais isoladas.

valores de U inferiores a $0.50 \text{ W/m}^2\text{.K}$ requerem espessuras de isolamento de pelo menos 6 cm ³³. E como se pode ver na Tabela 3, este valor de $0.50 \text{ W/m}^2\text{.K}$ é hoje em dia o requisito menos exigente ao nível das fachadas. Para zonas climatéricas com invernos mais rigorosos e/ou para coberturas, as exigências são substancialmente mais apertadas³⁴.

Tabela 4 Valores do coeficiente de transmissão térmica (em $\text{W/m}^2\text{.K}$) da camada de isolamento face à condutibilidade térmica do material de isolamento e à sua espessura. O fundo rosa indica valores acima do requisito mínimo regulamentar para coberturas na zona climática I1 (de 0.40) e o verde mais escuro indica valores 50% melhores que esse limite.

	Condutibilidade térmica (W/m.K)						
	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05
20	0.85	1.03	1.20	1.35	1.49	1.63	1.75
40	0.46	0.56	0.67	0.76	0.85	0.94	1.03
60	0.32	0.39	0.46	0.53	0.60	0.67	0.73
80	0.24	0.30	0.35	0.41	0.46	0.51	0.56
100	0.19	0.24	0.29	0.33	0.37	0.42	0.46
120	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.35	0.39
140	0.14	0.17	0.21	0.24	0.27	0.30	0.34
160	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30
180	0.11	0.14	0.16	0.19	0.21	0.24	0.27
200	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
250	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19
300	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16

³³ A discussão aqui feita ignora, por simplicidade, o contributo dos elementos estruturais e das superfícies para a resistência térmica total efetiva da envolvente. Dependendo da estrutura física da envolvente, esses elementos podem ter um contributo não desprezável em termos de contenção das perdas por condução na envolvente, mas esse impacto tende a reduzir-se quanto melhor for o nível de isolamento da envolvente (que deverá ser o nível em que os E^2PA deverão posicionar-se). Por exemplo, numa parede de betão armado com 20 cm, 6 cm de XPS e reboco (valor- U da parede $0.47 \text{ W/m}^2\text{.K}$), o isolamento contribui com mais de 80% da resistência térmica total. Contudo, se for numa parede dupla com duas fiadas de tijolo térmico e acústico de 14 cm (resistência $0.79 \text{ m}^2\text{.K/W}$) e com caixa de ar de 5 cm (valor- U da parede $0.27 \text{ W/m}^2\text{.K}$), o mesmo isolamento já só contribuiria cerca de metade da resistência total.

³⁴ Veja-se o 1.º volume dos “10 Guias de Eficiência Energética” para algumas informações adicionais disponibilidades pela ADENE. (ADENE, 2016)

Contudo, a própria legislação complementa a Tabela 3 com a nota de que os valores aí expressos deverão ser alvo de continuadas atualizações, como forma de irem incorporando as crescentes exigências, desde logo, impostas pelo respeito dos valores da sustentabilidade ambiental global, que justificam, por sua vez, as determinações da Comissão Europeia ao nível da Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios (Parlamento Europeu e do Conselho, 2010). A determinação expressa nesta, de que todos os novos edifícios a partir de 2021 devam ter muito elevado desempenho, a que a diretiva, mesmo sem apresentar uma definição final, chama *Nearly Zero Energy Building* (NZEB), promove e determina um prazo para aumentar as exigências nos níveis de isolamento térmico dos edifícios. Estes factos apontam e reforçam a necessidade de ir, desde já, bem além dos requisitos mínimos.

Estas determinações, contudo, variam no tempo, desde logo porque os preços dos materiais e equipamentos, bem como os custos da energia e de instalação, evoluem significativamente. Não faz, portanto, sentido usar uma abordagem de receituário para esta questão, sendo que cada projeto deve ser sujeito a uma ponderação que contemple o cálculo das perdas térmicas pelos diversos elementos, tentando equilibrá-las (sem que nenhum elemento tenha um peso muito superior ao dos restantes na contabilidade das perdas de calor). Acima de tudo, nunca esquecendo o objetivo último de conseguir um comportamento térmico de excelência, deverá ficar patente que deverão ser os cálculos da análise térmica do projeto que devem guiar os níveis adequados de isolamento térmico, evitando que se peque por defeito ou por excesso.

De semelhante relevância que a do nível de isolamento é o posicionamento deste na construção da envolvente, nomeadamente, na sua colocação pelo exterior das paredes envolventes. Esta prática permite maximizar o aproveitamento da massa térmica interior e, assim, assegurar uma elevada inércia térmica dos espaços e correspondentes melhorias ao nível do conforto térmico. Daí que em edifícios novos se deva, sempre que possível, projetar para que o isolamento térmico seja instalado pelo exterior da envolvente. A natureza pôs a lã pelo exterior às ovelhas e, em seres marinhos de água fria, uma camada gorda por baixo da pele.

Contudo, em situações concretas em que o isolamento não possa, de todo, ser colocado pelo exterior de forma contínua por toda a envolvente, deverá assegurar-se:

- uma minimização das áreas onde o isolamento é colocado, quer em sanduíche, no interior das paredes, quer na face interior da envolvente;
- que não se deixam pontes térmicas (inclusivamente em possíveis transições do posicionamento do isolamento), isto é, que os coeficientes de transmissão térmica nesses elementos fiquem ao mesmo nível que os restantes;
- e que se garante a existência de áreas adequadas de absorção do calor ambiente no interior, provendo os correspondentes níveis de massa térmica interior disponível necessários. Pela sua importância, este aspeto será abordado separadamente e em maior detalhe mais adiante no subcapítulo 5.3.

Do ponto de vista térmico, a escolha do sistema específico de isolamento pelo exterior é bastante permissiva. Desde que os coeficientes de transmissão térmica adequados sejam conseguidos, deverão ser outros valores a determinar qual a melhor solução, nomeadamente, o custo, a dificuldade técnica da instalação e, desde logo, o impacto ambiental dos materiais.

Deixa-se ainda a nota de que a resistência mecânica dos materiais de isolamento é usualmente baixa, pelo que estes devem ser protegidos adequadamente, principalmente se junto a zonas de passagem e acesso a pessoas, porventura cobrindo-se com materiais rígidos, para evitar danos. Há também que assegurar que a humidade não atinge diretamente ou por capilaridade os isolamentos, promovendo a sua degradação a longo prazo e a perda da sua capacidade isolante, nem os atravessa, vindo a condensar-se em superfícies dos paramentos entretanto desprotegidos. O acesso de animais, particularmente roedores, à camada de isolamento também deve ser adequadamente prevenido.

5.1.1. Soluções de Continuidade

Qualquer isolamento térmico só é devidamente eficaz quando contínuo. Assim, além de ser importante acautelar os níveis de isolamento, como referido anteriormente, bem como de o colocar preferencialmente pelo exterior (como ficará evidente no capítulo 5.3), há que garantir que num E^2PA toda a envolvente exterior se encontra isolada de forma contínua.

A questão da continuidade levanta desafios técnicos em determinados elementos estruturais, particularmente em situações em que há extensões de

lajes, paredes ou colunas que atravessem o alinhamento natural da superfície exterior da envolvente, como por exemplo em varandas. Nestas circunstâncias há soluções, algumas de compromisso, que se podem explorar. Por exemplo, em alguns países do Norte da Europa, encontram-se varandas em prédios cuja estrutura é totalmente exterior à envolvente, apoiando-se em colunas autónomas no exterior do edifício (normalmente em metal).

Existem também no mercado soluções técnicas de corte térmico estrutural que permitem desenhar os edifícios de forma convencional. Neste caso a extensão da laje leva uma peça, em alinhamento com o isolamento térmico, que permite transmitir as forças e cargas de forma semelhante à de uma laje contínua, mas fazendo uso de um material com baixa condutibilidade térmica (Figura 29).

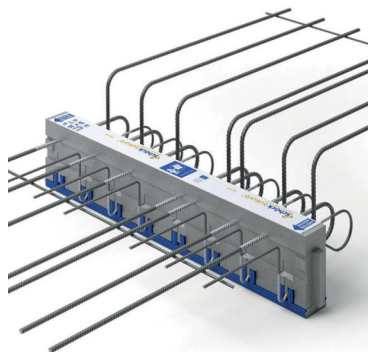


Figura 29 Exemplo de uma solução de corte térmico para ligação entre lajes e varandas exteriores (fonte: Schöck Isokorb), já aplicadas entre nós, permitindo, em hotéis, que a varanda de cada quarto esteja isolada do pavimento.

Uma outra solução, esta mais de compromisso, baseia-se no constrangimento da secção e/ou o aumento da extensão do percurso térmico da laje do pavimento na zona da extensão para formar a laje da varanda/balcão, por onde o calor possa propagar-se do interior para o exterior (dado que o fluxo de calor é proporcional à área da secção e inversamente proporcional à distância percorrida no percurso térmico). A restrição (mas não impossibilidade) neste caso é garantir a resistência estrutural enquanto simultaneamente se restringe a geometria da ligação.

5.1.2. Isolamento de Fundações e Espaços Enterrados

Um caso particular que é relevante abordar separadamente em termos de isolamentos da envolvente refere-se aos elementos em contacto com o

solo, quer sejam fundações, quer sejam paredes, colunas/pilares ou mesmo vigas que possam estar total ou parcialmente enterradas.

Por um lado, é sabido que a temperatura do solo tende a ter maior estabilidade do que a do ar, e a partir de uma certa profundidade torna-se praticamente constante. Além da menor amplitude de variação térmica em função da profundidade, verifica-se também um desfasamento temporal entre os máximos e mínimos de temperatura no ar e no solo, quer no ciclo de oscilação diário quer no anual (Figura 30).

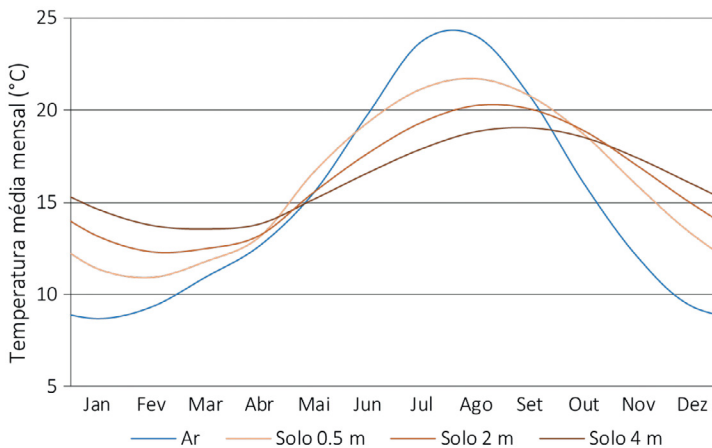


Figura 30 Comparação entre as temperaturas médias mensais no ar e no solo (a três profundidades: 0.5 m, 2 m e 4 m) na região de Lisboa (fonte: ficheiros climatéricos do EnergyPlus – Departamento de Energia EUA).

Por outro lado, enquanto as temperaturas médias do solo tendem a ser mais favoráveis que as do ar, as observações anteriores e o gráfico da Figura 30 referem-se a solos desocupados, i.e., expostos às contribuições da radiação solar incidente, às perdas térmicas por convecção e evapotranspiração (superficial e via vegetação), e às infiltrações da água (chuva/regagem) no solo. Quando tal não é o caso, como numa área coberta por um edifício, as temperaturas do solo tendem a reajustar-se gradualmente, no médio e longo prazo, geralmente no sentido de aumento da sua temperatura média.

A componente das perdas térmicas pelo solo tende a ter, portanto, uma importância relativamente menor que a das perdas pela envolvente em contacto com o ar exterior. Contudo, devido à maior condutibilidade térmica do

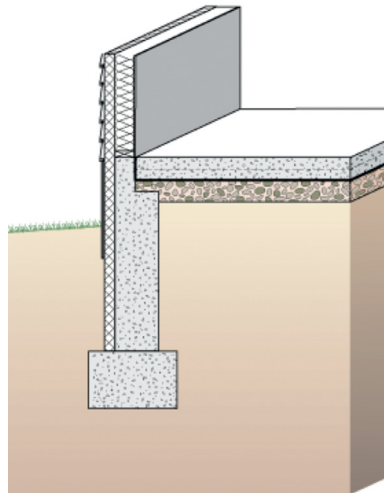


Figura 31 Exemplo esquemático de isolamento periférico abaixo do nível do solo (fonte: Foundation Design Notebook – Oak Ridge National Laboratory).

solo, continua a ser considerado relevante o tratarem-se estas perdas, quer com algum isolamento das superfícies em contacto com o solo (porventura menos espesso que na restante envolvente), quer isolando perimetricamente até alguma profundidade (i.e. no alinhamento e em continuidade com os isolamentos das paredes exteriores, o isolamento poderá continuar abaixo do nível do solo, em todo o perímetro do edifício, até uma profundidade geralmente entre 0.5 m e 1 m, Figura 31). Esta última opção potencia ainda mais a capacidade de armazenamento térmico do volume de solo por baixo do edifício, passando eventualmente a agir como um ‘amortecedor térmico’ de longo prazo (por exemplo retendo o calor do verão para mobilização no inverno e o fresco do inverno para uso no verão)³⁵. Contudo, esta opção deve ser bem ponderada face à situação concreta de projeto, provavelmente só fazendo sentido em regiões com verões particularmente quentes.

³⁵ A prática de aproveitamento da massa térmica do solo é particularmente comum e usada em regiões com verões bastante quentes e amplitudes térmicas diárias elevadas. O designado ‘ground coupling’, em que a construção estabelece, propositadamente, um bom contacto térmico entre o interior e o solo por baixo do edifício (por exemplo com o uso de lajes assentes diretamente sobre a terra, usando telas de impermeabilização) permite amenizar as variações térmicas no interior, em especial no piso térreo, e assim reduzir as necessidades de arrefecimento (e possivelmente também de aquecimento). Veja-se, por exemplo, o estudo de Sobhy *et al.*, Effect of thermal insulation and ground coupling on thermal load of a modern house in Marrakesh, disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org>

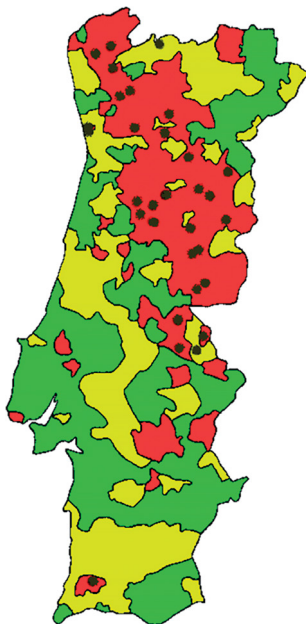


Figura 32 Mapa da prevalência de radão em Portugal. Pontos negros indicam locais onde foram encontrados níveis superiores a 400 Bq/m³ (Fonte: ITN).

Mais relevante do que a questão térmica é a preocupação de impermeabilização das fundações, quer às humidades, quer ao gás radão (se porventura o houver na área de localização do edifício). Principalmente quando as fundações sejam constituídas por materiais com alguma porosidade, como será o caso do tradicional betão, é fundamental garantir que a humidade do solo não consiga chegar à estrutura, sob risco de esta poder permear o percurso da humidade por efeito de capilaridade até ao interior da casa, o que poderia produzir graves problemas quer ao nível da degradação dos materiais, quer ao nível da qualidade do ar, via patologias superficiais como crescimento de fungos e bactérias nas paredes interiores.

O radão é um problema regionalmente localizado, associado mais proeminentemente a rochas graníticas e de xisto que na sua formação acumularam determinados metais pesados radioativos (principalmente rádio, urânio e tório). Estes elementos, no seu percurso de decaimento atómico natural, passando por diversas espécies metálicas, transformam-se eventualmente em gás radão e passam então a estar mobilizáveis para o exterior da matriz rochosa, libertando-se para o ar. O gás radão pode então ser inalado diretamente ou via poeiras dos produtos de decaimento adicional do radão em outros elementos radioativos como polónio, chumbo ou bismuto. A radiação alfa libertada por estes elementos, sendo altamente ionizante, mas normalmente inócua devido ao baixo poder de penetração, passa a constituir um risco cancerígeno quando encontra os epitélios do trato respiratório.

Por este facto, a OMS identificou o radão (Zeeb, Shannoun and World Health Organization, 2009) como uma causa significativa de cancro pulmonar (estimado como a causa em 3 a 14% dos casos), recomendando um limite de 100 Bq/m^3 (Becquerel por metro cúbico) para redução dos riscos. Conforme ilustra a Figura 32, Portugal dispõe do mapeamento das zonas com incidência do radão correspondentes a regiões relativamente ricas em minérios de urânio. Nessas áreas, e na lógica do desenho relativamente ao 'lugar', haverá que acautelar o potencial de penetração do gás radão no interior dos edifícios. E isto deve poder ser tratado logo ao nível do local de implantação e ter em atenção o desenho e construção do edifício, evitando a concentração de radão no espaço interior, implementando desvãos sanitários ventilados, instalando mantas impermeáveis ao ar e cuidando da origem dos agregados usados na construção (em particular de *'tout venant' de origem granítica*).

Um cuidado semelhante deve ser tido quando da reutilização de prévios aterros ou lotes industriais. Evoque-se aqui o caso dos cuidados suscitados no terreno que hoje alberga o Parque das Nações em Lisboa e que antes haveria tido usos menos nobres ou ambientalmente problemáticos, nomeadamente uma refinaria, um depósito de material de guerra e um de ferro velho.

5.2. Captação Solar e Sombreamento

5.2.1. Iluminação

Não é excessivo falar-se de *'naïveté'* nas abordagens à iluminação natural no modo como é hoje praticada no projeto da habitação. A inexistência de regulamentação neste domínio é sintomática, não porque a regulamentação seja sinónimo de boas soluções, que não o é necessariamente, mas porque presumivelmente indicia tratar-se de um problema de dimensão relativa menor dependente de uma variedade de parâmetros todos subtis e de diferentes naturezas, desde a geometria variável da insolação à diversidade das cores dominantes nas superfícies interiores, mobiliário e materiais. Na iluminação natural comparecem o meio natural, em particular o céu e o disco solar, o entorno luminoso imediato, as fenestrações e o ambiente interior (forma, materiais e cores, ...), todos determinantes no resultado final.

A iluminação é a mais assimétrica e direcional das grandezas do conforto. Essa assimetria dificulta o projeto de espaços puramente funcionais, por exemplo, para leitura ou trabalho, mas enriquece e qualifica os espaços de vivência. O ambiente luminoso interior é inerentemente assimétrico e hete-

rogéneo. Essa condição, indesejável no contexto da térmica ou da acústica e inconveniente nos locais de trabalho, é pelo contrário uma mais-valia nas habitações, que deve ser mais bem conhecida e valorizada através do bom projeto. Os bons interiores oferecem inúmeras situações distintas de iluminação adequadas aos diferentes momentos do dia e do ano e aos diferentes usos e estados de espírito dos ocupantes.

Em anos recentes foram feitos avanços importantes na caracterização da complexidade da luz natural. Também se progrediu significativamente no entendimento dos efeitos da luz sobre os seres vivos, em particular os chamados efeitos não visuais da luz natural, quer em termos da fisiologia quer da psique. Em Portugal, onde a luz natural e o sol são abundantes, o significado prático dessas descobertas é distinto daquele que tem nos climas mais sombrios.

A caracterização da luz natural como recurso padeceu durante muitos anos da dificuldade de quantificação pela sua complexidade e variabilidade no tempo e no espaço, à qual acrescem ainda a distribuição espectral e a distribuição angular, sempre cambiantes. Esta complexidade deixou de ser uma barreira com os modernos recursos computacionais. Modelos verdadeiramente representativos do recurso luz natural são finalmente possíveis e práticos.

A avaliação e o cálculo de luz natural estão num processo de rápida transformação onde indicadores primitivos como os coeficientes de luz de dia estão a ser substituídos pela simulação dinâmica e por critérios de projeto baseados na avaliação de anos climáticos completos. De tão recente, ainda sobressai a imaturidade de critérios supostos integrados e objetivos. Estes critérios não transitam entre climas e qualquer sugestão nesse sentido deve ser rejeitada liminarmente. Não obstante, a riqueza de informação não impede a avaliação *ad hoc*, momento a momento, para a qual há uma fundamentação superior à da ocorrente em qualquer momento no passado.

A luz natural não é uma grandeza escalar, estando associada inevitavelmente ao calor, cor, brilho, contraste, definição e forma. Interessa na habitação valorizar sobretudo esses valores de percepção, que configuram o ambiente luminoso, sendo menos importantes os critérios elementares de 'desempenho' tais como a iluminância.

Importa destacar que em iluminação o critério energia tem hoje relevância decrescente na avaliação de desempenho global. Primeiramente porque a eficiência elevada das lâmpadas mais recentes (nomeadamente LED) reduziu em muito as necessidades de energia comercial para a iluminação,

enquanto outras necessidades de energia, para o aquecimento, a ventilação e até o ar condicionado, só têm feito aumentar, par-e-passo com o crescimento das expectativas reais ou presumidas de conforto e o bem-estar económico. Assim, a iluminação representa uma fração cada vez menos importante na fatura energética da habitação e o critério-chave deve então ser sempre o conforto, não a energia.

A importância prática desta distinção torna-se mais fácil de apreciar em todas as situações onde há uma assimetria significativa. Assim, uma avaliação centrada na energia muitas vezes irá indicar não haver retorno económico, por exemplo, em isolar melhor a envolvente dos edifícios de grande volume, havendo até quem defenda, com uma miopia infelizmente muito difundida, que os grandes edifícios de comércio e serviços deveriam ter envolventes fracas porque mesmo no inverno o seu balanço térmico mostra um excesso de calor que importa dissipar. Mas o critério energia é integrador e mascara a complexidade das situações individuais. À luz do conforto é imediatamente claro que as zonas do edifício próximas da envolvente sofrem de assimetrias térmicas de difícil solução e que uma envolvente de boa qualidade é essencial para mitigar tais diferenças.

Estas considerações são ainda mais relevantes para a iluminação natural dada a assimetria radical que a caracteriza, e decorre daí que o conforto e os valores visuais e percetivos são, ou devem ser, os controladores do cálculo e da avaliação de desempenho.

Do ponto de vista prático, um E^2PA deverá então ser desenhado com as melhores soluções de valorização e aproveitamento da iluminação natural, o que é uma questão maioritariamente da responsabilidade e expertise da arquitetura. Contudo, estas opções deverão ser compatibilizadas com os objetivos de maximização dos ganhos solares úteis e eliminação dos excessivos, discutidos mais adiante ao nível da fenestração e do sombreamento.

Contudo, nos períodos e/ou espaços em que a iluminação natural não esteja disponível ou não seja uma opção viável, será necessário que os níveis de iluminação artificial sejam adequados às utilizações desses espaços, geralmente em níveis entre 100 e 150 lux nas áreas de trabalho ou leitura, mas provavelmente inferiores noutros espaços. Nas situações em que os níveis de iluminação devam ser mais elevados, geralmente para tarefas de maior detalhe visual, a prioridade deverá ser dada à iluminação focada e localizada.

Além da eficiência do sistema de iluminação (atualmente quase certamente baseado em tecnologia LED), poderá haver espaço para o ajuste dos níveis

de intensidade de iluminação de forma dinâmica em determinadas áreas, permitindo, por exemplo, que se possa usar só uma fração da potência luminosa disponível quando a total não seja necessária ou até indesejada.

A implementação de sensores de presença/movimento para controlar a iluminação, particularmente em espaços de passagem ou de acesso esporádico, como em arrumos, casas de banho e corredores, poderá também providenciar maior conforto aos residentes, que já não precisarão então de se preocupar em procurar interruptores à chegada e à saída, mas também poderá reduzir o desperdício de energia em iluminação desnecessária. Contudo, mesmo nestes casos, deverá haver sempre a possibilidade de revogar o sistema automático quando assim aprover aos residentes.

5.2.2. Fenestração

As aberturas são os elementos da construção dos quais mais se exige em termos funcionais. As aberturas são elementos determinantes na estética do objeto arquitetónico; configuram a modenatura³⁶ das fachadas; enquadram a visão do exterior; permitem a comunicação visual; são caminhos de circulação e os elementos ou pontos de controlo de acessos; são elementos da segurança; admitem a radiação solar nas estratégias de ganho passivo direto; são caminhos da ventilação natural e dispositivos para o seu controlo; protegem contra o ruído; participam no isolamento térmico das fachadas; e, ressalvadas ainda outras funções das aberturas aqui não enumeradas, são ainda o meio pelo qual a luz natural habitualmente penetra no interior do edifício.

Esta multiplicidade de funções implica compromisso e hierarquias de prioridade. Na prática, e atendo-nos apenas às implicações das aberturas para a física dos edifícios, é correto dizer que as aberturas são determinantes para o desempenho ambiental dos edifícios em pelo menos quatro áreas distintas. No nosso clima o controlo solar merece quase sempre prioridade sobre a iluminação natural, até porque a luz solar direta também não é apropriada para bem iluminar. Solucionado este especto, resta ainda muita latitude para trabalhar a fenestração tendo em vista qualificar visualmente os espaços interiores, oportunidade essa raramente explorada de forma consistente e informada.

³⁶ Modenatura (ou modinatura) refere-se ao conjunto de molduras de uma obra arquitetónica.

Num E^2PA , além dos aspetos já referidos anteriormente em relação à orientação dos espaços e aberturas dos vãos, as áreas das superfícies transparentes deverão ser compatíveis com o equilíbrio térmico do projeto, ajustando-as para que os ganhos solares na época de aquecimento assegurem ganhos solares úteis suficientes para minimizar as necessidades adicionais de aquecimento. Contudo, assumindo que se implementam estratégias eficazes e flexíveis de controlo da admissão da radiação solar (ver secção seguinte) e que as perdas térmicas pelos envidraçados são minimizadas, então poderá haver espaço para pecar mais por excesso do que por defeito ao nível das áreas dos vãos transparentes.

Enquanto os vãos transparentes podem ser entendidos como elementos de captação solar, semelhantes a coletores solares térmicos, e que contribuem, portanto, para o balanço energético do edifício, estes são também os elementos da envolvente que maiores perdas térmicas nominais (i.e., por m^2 de área) apresentam. Note-se que em termos regulamentares os valores máximos para o valor de U ao nível das paredes em contacto com o exterior se fixam num máximo de $0.50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ enquanto ao nível das janelas se admitem coeficientes de transmissão térmica até um máximo de $2.80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (ou seja, mais de 5 vezes superior). Assim, num edifício que cumpra os requisitos mínimos regulamentares acima e em que 15% da envolvente seja constituída por janelas, as perdas térmicas por essa envolvente transparente serão da mesma ordem das perdas térmicas totais pela envolvente opaca.

Adicionalmente, quando existem grandes diferenças na condutibilidade térmica entre elementos da envolvente, há sempre o risco de as superfícies que estão significativamente mais frias promoverem a condensação da humidade pelo interior. Remetendo novamente ao exemplo do parágrafo anterior, se as janelas apresentarem uma condutibilidade térmica quase seis vezes maior que a das paredes, então o risco de condensações nestas pode tornar-se problemático.

Portanto, fica patente que a qualidade térmica das janelas e as suas características de condutibilidade térmica são tão ou mais importantes que as da restante envolvente. Os valores mínimos regulamentares atuais determinam já que a solução mínima compatível deve ser constituída por vidros duplos e caixilharias com corte térmico³⁷. Mesmo dentro desta família de

³⁷ Para efeitos de verificação de cumprimento regulamentar, mas também para informação à equipa de projeto, é hoje em dia obrigatório que qualquer sistema de janela/envidraçado tenha que estar certificado energeticamente. Isto implica que o construtor tem a responsabilidade de avaliar as características de condutibilidade térmica, do fator solar, da transmissividade, de permeabilidade ao ar e de atenuação acústica das janelas. Para o efeito, a Agência para a Energia (ADENE) implementou

soluções, é possível encontrar opções no mercado com valores bem melhores (leia-se inferiores) que $2.80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mas a partir de determinado ponto o custo das janelas começa a incrementar dramaticamente. Valores de U inferiores a aproximadamente $1.50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ geralmente só se conseguem com o recurso a soluções de vidro triplo, possivelmente recorrendo a enchimentos com gases raros (como árgon ou xénon) e com caixilharias ainda mais isoladas. Além do custo muito superior destas soluções, há também que contar com o ligeiro impacto negativo em termos de transmissividade dos envidraçados, limitando a quantidade de ganhos solares. Assim, enquanto vidros triplos de baixa condutibilidade térmica devam ser considerados em situações em que estes não cumpram uma função de incursão de radiação solar e/ou sejam difíceis de cobrir com elementos isolantes, é de considerar evitar o seu uso quando a orientação das janelas seja significativamente favorável à incursão da radiação solar. Em todo o caso, o uso de vidro triplo ou qualquer outra solução tecnológica nunca deverá servir de álibi para a proposição de grandes extensões envidraçadas.

Uma solução alternativa a considerar, porventura mais custo-eficaz, pode passar pela utilização de portadas cegas com isolamento, preferencialmente controladas de forma automática conforme as necessidades de calor e iluminação no interior e o potencial de radiação, quer térmica quer visível, do exterior. A título de exemplo, uma portada com 5 cm de isolamento térmico (XPS), terá o potencial de reduzir a condutibilidade térmica de uma janela do mínimo regulamentar de $2.80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para cerca de $0.50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, podendo, portanto, aproximar dramaticamente o seu comportamento térmico ao da restante envolvente opaca. Conseguir semelhante melhoria só em termos da janela propriamente dita, sem recurso a portadas, seria tecnicamente difícil (mas não impossível) e, provavelmente, substancialmente mais caro. De notar que o potencial de isolamento de uma portada isolada só se conseguirá de facto aproveitar se esta selar tão perfeitamente quanto possível contra a janela, deixando uma caixa de ar estanque entre esses dois elementos. Também, preferencialmente, a portada deverá sobrepor ou alinhar com o restante isolamento térmico do edifício, eliminando ao máximo quaisquer descontinuidades.

Nos casos em que se opte por instalar portadas isoladas, o ideal será fazê-lo pelo exterior. Enquanto de uma perspetiva térmica a condutibilidade do conjunto janela/portada será essencialmente igual independentemente da

não só um sistema de etiquetagem energética de janelas (agora designada CLASSE+) como também um portal que o acompanha, providenciando informação sobre todos os fabricantes aderentes e produtos certificados (disponível em <https://www.seep.pt>).

posição relativa desses dois elementos (i.e., portada pelo exterior ou pelo interior), da perspectiva do risco de condensações na superfície interior da janela (particularmente no inverno) é preferível que as portadas estejam pelo exterior. Isto pode dar-se porque a caixa de ar que se deixa entre a portada e a janela irá ter níveis de humidade absoluta mais elevados no caso em que esta esteja do lado interior da janela. Esse facto, adicionado à superfície mais fria da janela, aumentará substancialmente o risco de formação de condensações e respetivos riscos para a salubridade dos espaços e para a saúde das pessoas. Nos casos em que se opte, quer por impossibilidade técnica quer por vontade estética, instalar as portadas pelo interior, então será preferível minimizar o volume da caixa de ar deixada entre a portada e a janela.

5.2.3. Sombreamento

Com o objetivo de aproveitar os ganhos radiativos solares na época de aquecimento, implementam-se soluções de desenho do edifício que, geralmente, levam a excesso substancial de ganhos durante os meses mais quentes se não se acautelarem adequadamente as estratégias de sombreamento. É verdade que no inverno o Sol impacta a fenestração mais perpendicularmente (quando a Sul) e isso é favorável aos objetivos aqui perseguidos. Num edifício de elevado perfil ambiental esses ganhos excessivos podem gerar uma situação que se pode tornar rapidamente insuportável. Apesar de níveis elevados de inércia térmica dos espaços concederem, por definição, um certo grau de resistência ao sobreaquecimento, podem também exacerbar os impactos negativos de uma situação que não tenha sido devidamente controlada ao nível dos ganhos solares. Esta é, por exemplo, uma situação que tem sido frequentemente encontrada nos países do Norte da Europa, onde uma falta de tradição de sombreamento dos envidraçados, níveis de isolamento térmico elevados, exacerbados pela baixa inércia dos espaços e a ventilação mecânica com recuperação de calor, têm levado ao sobreaquecimento dramático dos espaços no verão.

A chave para que o comportamento passivo de um edifício seja utilizado em todo o seu potencial está na capacidade deste em se poder adaptar às exigências e potencialidades de cada período climático, e em particular ao nível do controlo dos ganhos solares. Assim, enquanto os envidraçados (discutidos na secção anterior) devem potenciar ganhos solares suficientes nos períodos mais exigentes, o sombreamento deve ser capaz de os ajustar e restringir quando não sejam necessários.

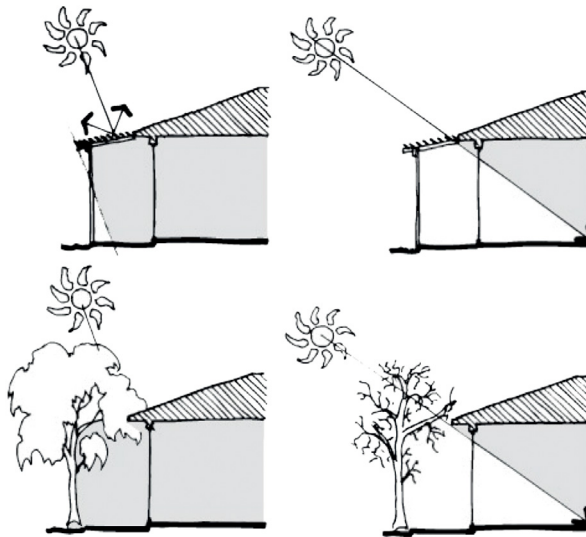


Figura 33 Duas estratégias de sombreamento passivo, mostrando como no verão (à esquerda) as palas horizontais ou a vegetação pode impedir a entrada de radiação solar direta, enquanto no inverno (à direita) o ângulo solar mais baixo e a perda das folhas da vegetação caduca potencia os ganhos solares úteis (fonte: <https://www.yourhome.gov.au/>).

Atualmente, ao nível do sistema nacional de certificação energética (SCE), é feita uma análise e cálculo relativamente detalhado do efeito de sombreamento em termos de impacto quer nos ganhos solares úteis (i.e. durante a época de aquecimento), quer nos ganhos solares excessivos, que podem manifestar-se sob a forma de sobreaquecimento do interior (ou aumento das necessidades de arrefecimento) durante a época de arrefecimento. Esse cálculo inclui um conjunto de estimativas considerando a orientação, fator solar e transmissividade de vãos transparentes, sombreamento de horizonte e de objetos exteriores (principalmente outros edifícios), auto-sombreamento (quer por volumes do edifício quer por elementos fixos de sombreamento) e elementos móveis de sombreamento (interiores e exteriores). Adicionalmente, dependendo da zona climática e do nível de inércia térmica do edifício, há também requisitos de fator solar máximo de vãos envidraçados não orientados ao quadrante Norte.

Muitos edifícios hoje existentes em Portugal, por falta de bom projeto, propendem a situações em que os ganhos solares podem facilmente tornar-se excessivos mesmo durante o período de inverno. Enquanto a arquitetura pode oferecer pelo menos parte da resposta, particularmente com a inclusão

de palas horizontais e verticais e outros elementos construtivos fixos que fazem uso da geometria solar para permitir a incursão da radiação solar no inverno e impedi-la no verão (Figura 33, topo), a sua capacidade é limitada, particularmente nas estações intermédias. Se para as fachadas a sul, os elementos fixos podem ser projetados e dimensionados para assegurar totalmente o sombreamento no solstício de verão, em torno de 21 de junho e não sombrearem nada no solstício de inverno, a 21 de dezembro, fora desses períodos do ano não é possível assegurar uma relação tão satisfatória entre o sombreamento e a sua necessidade. Assim, por exemplo, em fevereiro, quando em Portugal o inverno tende a fazer-se sentir ainda com alguma severidade, uma pala de sombreamento pode já desperdiçar cerca de um quinto dos ganhos solares que poderiam ser úteis.

Uma outra opção, porventura também útil, é o uso da arborização, em particular de espécies decíduas, que projetem uma agradável sombra natural através da folhagem na primavera e verão, mas permitindo a passagem de grande parte da radiação solar no outono e inverno (Figura 33, baixo). Contudo, o sombreamento vegetal apresenta desvantagens semelhantes às dos elementos arquitetónicos fixos, bem como também requiere manutenção e corre o risco de não estar disponível quando necessário (por exemplo devido a doenças ou morte das plantas no início do verão).

Em contrapartida, elementos de sombreamento móveis ou ativos, particularmente se controlados automaticamente, (ver cap. 7.3), permitem assegurar níveis de radiação solar adequados às necessidades específicas para o conforto interior. Idealmente, soluções deste tipo poderão controlar completamente os níveis de ganhos solares entre 0% e 100% da radiação incidente, em qualquer altura do ano, sem a necessidade de intervenção dos residentes (mas sempre com a possibilidade de serem controlados manualmente, se pretendido).

A diversidade de opções arquitetónicas nesta frente é vasta, existindo inúmeros exemplos arquitetónicos de excelência na integração de elementos de sombreamento móveis nos mais diversos tipos de edifícios. As portas cegas térmicas mencionadas na secção anterior, apesar de poderem ser usadas com este propósito, podem não constituir uma solução em si pois em muitas ocasiões a pretensão do elemento de sombreamento é impedir a passagem da radiação direta, mas deixar passar iluminação indireta. Não é aceitável ter que se recorrer a iluminação artificial havendo luz natural a explorar.

Independentemente da solução escolhida, os elementos de sombreamento deverão ficar sempre pelo exterior da envolvente. Enquanto o sombreamento

pelo interior será certamente melhor do que não ter sombreamento nenhum, o facto é que a radiação, tendo entrado ou atingido os envidraçados e caixilharias, passará sob a forma de calor para o interior, e será absorvida quer pelos próprios elementos de sombreamento, quer pelo ar, quer pelos elementos estruturais em torno da janela. E este aspeto será tão mais problemático quanto melhor forem as características térmicas das janelas (como poderá ser o caso num E^2PA), pois a retenção desse calor (excessivo) no interior será maior.

As cortinas e telas interiores devem aqui ser entendidas mais como dispositivos de controlo de privacidade e de difusão da iluminação direta excessiva e não como elementos de sombreamento (mesmo que na prática possam ter um pequeno impacto nessa frente). Não sendo então elementos de grande relevância térmica há, contudo, que ter cuidado com os materiais escolhidos pois estes podem libertar compostos nocivos quando aquecidos substancialmente pelo sol. Este aspeto pode ser particularmente agudo em telas plásticas ou compostas, frequentemente contendo plastificantes que podem libertar-se da estrutura polimérica a temperaturas mais elevadas ou sob exposição a radiação solar intensa.

5.3. Capacidade de Armazenamento Térmico

A problemática das condições de adequada inércia térmica num dado espaço, uma vez identificado o conceito (em 5.1) envolve uma sequência de passos consistentes e convergentes para aquele fim. Em primeiro lugar, importa identificar que fontes de calor passivo se podem usar: relação geométrica dos raios do Sol (nas suas órbitas da estação de aquecimento) e área e localização das janelas com insolação franca por um tempo significativo; em segundo lugar, devem-se valorizar as superfícies interiores das paredes ou dos pavimentos com condições de absorverem o calor da radiação solar impactante. Atenção a não cobrir tais superfícies, por exemplo com tapeçarias, mobiliário ou outros elementos, e a usar materiais massivos como cerâmicas, pedras ou material equivalente (i.e., evitando madeira, cortiça, alcatifa, etc.). A coabitação de dois materiais no pavimento ou em uma ou mais paredes não é assim tão incomum mesmo sem que esteja presente o desafio a que aqui se pretende responder.

A inércia térmica deve ser gerida tendo em conta que se torne possível, no conjunto de um dia da estação fria, captar o máximo de energia solar possível (de se poder abrir as portadas das janelas, se as tiverem, de se poderem gerir as cortinas, etc.). Com efeito, os fenómenos de armazenamento em

materiais diferentes impactados em instantes e por tempos diferentes serão sempre úteis na subida do calor armazenado nos materiais que compõem a envolvente interior e, por consequência, a temperatura do ar, podendo manter essa temperatura ou, no mínimo, uma temperatura mais elevada do que a que poderia existir se não tivesse sido usada a captação. Torna-se assim possível reduzir o consumo de energia comercial se e quando houver a necessidade de proceder, em princípio, com menor frequência e intensidade, a um ajuste da temperatura ambiente naquele espaço particular.

Na construção mais convencional em Portugal, recorrendo ao cimento e tijolo, argamassas e betão, para os elementos estruturais dos edifícios, os níveis elevados de inércia térmica dos espaços interiores ficam assegurados se se atenderem às recomendações de isolar pelo exterior e de não se cobrirem as paredes e lajes com materiais de baixa condutibilidade térmica (como madeiras, gesso cartonado, etc.), principalmente nos espaços de maior permanência dos residentes.

Como se discutirá mais adiante, em 8.3, este tipo de materiais de construção tem impactos ambientais significativos, pelo que o seu uso deverá ser ponderado e mais bem ajustado aos objetivos da construção. Assim, haverá incentivo num edifício de elevado perfil ambiental para procurar soluções construtivas alternativas, com menor impacto ambiental e, preferencialmente, baseadas em soluções renováveis ou, alternativamente, reutilizáveis ou recicláveis. Para a primeira opção, as soluções mais imediatas serão as madeiras e compósitos de madeira estruturais, como por exemplo laminados de madeira. Na segunda opção, recaem soluções como as de estruturas metálicas estruturais para as quais o mercado apresenta hoje em dia diversos sistemas e modelos.

Enquanto as soluções acima podem até trazer grandes benefícios em termos das opções arquitetónicas, rapidez de construção e, potencialmente, também em custos, o grande desafio que lhes estará sempre associado, particularmente num clima ameno como o de Portugal, é o de garantir os níveis de massa térmica pelo interior do isolamento. Tecnicamente, será possível ponderar opções de revestimento interior com placas ou elementos pré-fabricados de elevada massa térmica, quer à base de pedra, agregados ou betão que, não apresentando a mesma volumetria de que precisariam se tivessem que cumprir função estrutural, possam ainda assim fornecer massa térmica aos espaços interiores, mas com impacto ambiental significativamente reduzido. De forma geral, os materiais massivos alternativos à construção convencional tenderão a ser um desafio quer pela massa térmica quer pelo potencial custo.

Há ainda que considerar que em termos de potencial de incremento da inércia térmica é tão relevante assegurar amplas áreas de superfícies interiores com massa acessível quanto é assegurar que a espessura do material capaz de armazenar a energia não é demasiado baixa (por exemplo menor que 5 cm). Enquanto só os primeiros 8 a 10 centímetros desse volume serão de facto úteis no amortecimento da amplitude térmica dos espaços em questão no ciclo diário³⁸. Espessuras adicionais têm papel insubstituível na moderação interior de sequências de dias quentes, conferindo a enorme estabilidade térmica característica de muitas construções antigas.

Em edifícios ou espaços de ocupação esporádica, por exemplo, em casas de férias ou segundas casas só visitadas aos fins de semana, a existência de inércia térmica elevada pode ter um impacto negativo quer ao nível das condições de conforto quer ao nível das necessidades de aquecimento no inverno. Esta é uma consequência direta do tempo de resposta térmica mais lenta dos edifícios com inércia mais elevada e, consequentemente, nestes casos deverá ser preferível moderar os níveis de inércia.

Dito isto, o facto é que um E^2PA deverá ser menos exigente que um edifício convencional ao nível da inércia térmica adequada. Um primeiro fator favorável prende-se com os elevados níveis de isolamento térmico que reduzem as perdas térmicas pela envolvente e, como tal, necessitam de uma menor reserva de calor no interior para que as temperaturas se mantenham dentro dos limites de conforto adaptativo. Um outro fator preponderante é o controlo mais flexível e eficaz dos ganhos solares, assim melhor ajustando os fluxos de radiação às necessidades reais para o conforto. O terceiro e último fator é o da ventilação (ver cap. 6.1), que na grande maioria das circunstâncias pode ser otimizada para ocorrer na medida e no tempo mais adequado às necessidades, quer em termos de qualidade do ar interior, quer da térmica (por exemplo, ventilando bastante durante a noite para arrefecer o edifício durante o período de verão, ou priorizando a ventilação ao início da tarde, no período em que o ar exterior tem uma temperatura mais amena durante o inverno). Estes três fatores, não eliminando a necessidade de níveis adequados de inércia térmica interior, deverão resultar em fluxos térmicos suficientes para amortecer as variações de temperatura interior menos intensos.

³⁸ A inércia térmica dos edifícios é atualmente considerada nos regulamentos, sendo primeiro estimada de forma simplificada, através da massa dos elementos construtivos pelo interior da camada de isolamento, e depois traduzindo-se num fator de inércia, tabelado, que vai, por um lado, limitar o fator de utilização de ganhos solares e, por outro, estabelecer valores máximos admissíveis para fator solar global dos vãos envidraçados.

6. Qualidade do Ambiente Interior

6.1. Controlo de Fontes Poluentes Interiores

A qualidade do ar é uma realidade físico-química e biológica que beneficiou de enormes progressos nas áreas da saúde, nos últimos 30 anos identificando, dentre as mil substâncias rastreáveis em ambientes interiores, a dúzia de substâncias que, pelo seu hábito de presença e pelo seu impacto na saúde,

têm merecido especial atenção da OMS, tanto em termos de estudos nos domínios da química e física do ar e seus efeitos na saúde, como nas subseqüentes estratégias de gestão da qualidade do ar. Daí nasceu a estratégia-mãe para a gestão da qualidade do ar designada de *'source control'* que, a exemplo do sucedido na história humana, como com o pré-dimensionamento das estruturas para que resistissem às cargas e ao tempo, aqui, para a qualidade do ar há que partir de materiais e componentes 'limpos' para que a qualidade do ar esteja diretamente ligada com a utilização dos espaços em questão. Aí dever-se-á ter a exaustão em locais específicos e a vigilância da qualidade do ar em geral sempre que haja ocupações elevadas e inusitadas. É neste quadro que o não fumar ou não usar velas de qualquer tipo no interior se insere no *'source control'* como também é possível encontrar produtos de limpeza ecológicos, nomeadamente, sem limoneno, etc.

A salubridade dos espaços interiores na lógica do *'source control'* só se garantirá se todas as fontes interiores de poluentes estiverem contidas ou condicionadas, ou tiverem extração local adequada. Assim, nas casas de banho e cozinhas haverá, conforme impõem os regulamentos, extração que tratará da eliminação de humidades excessivas e cheiros. Num edifício de elevado perfil ambiental também os processos de combustão deverão estar minimizados evitando-se, por exemplo, o recurso a gás (de botija ou canalizado natural) para cozinhar e dando-se preferência a tecnologias elétricas como indução, micro-ondas, etc. Os residentes deverão também estar sensibilizados para serem críticos quanto aos produtos de consumo que usem, evitando ambientadores, velas, 'purificadores do ar', detergentes com aromas, etc., que são reconhecidamente prejudiciais à QAI ao libertarem quantidades significativas de compostos orgânicos voláteis, muitos deles irritantes do sistema respiratório ou até mesmo danosos para a saúde no mais longo prazo.

Ao nível do edifício propriamente dito, há ainda que assegurar que os materiais de construção usados não libertam substâncias prejudiciais. Este aspeto é particularmente relevante nos revestimentos interiores, principalmente se porosos, agregados, tintas, vernizes, tecidos e plásticos. Assim, sempre que possível, deverá priorizar-se soluções que tenham sido sujeitas a processos de certificação de ausência de emissões, mesmo que estas certificações tenham sido implementadas para outros mercados que não o português. Hoje em dia há diversos produtos já certificados em Portugal (tintas, revestimentos de cortiça, colas, vernizes, etc.), materiais e produtos que devem ter prioridade na aplicação nos novos edifícios (ver cap. 2.3.3).

O controlo das fontes é essencial para que, quando acoplado à estratégia de ventilação discutida anteriormente, a qualidade do ar interior seja de facto a pretendida. O uso dos níveis de CO₂ como indicador indireto da qualidade do ar interior só é válido quando num espaço não existam emissores significativos de outro tipo de poluentes, em particular compostos orgânicos voláteis. Quando haja dúvidas quanto à verificação dessa condição, é recomendável, por exemplo dois ou três meses depois de se ter completado a construção do edifício, executar uma auditoria à qualidade do ar interior com uma detalhada ‘*checklist*’, confirmando se não há fontes poluentes que possam estar a ter impacto significativo na salubridade dos espaços interiores.

Os regulamentos portugueses têm oscilado na sua abordagem à qualidade do ar interior, particularmente quanto aos edifícios de serviços. Nas versões originais do sistema de certificação energética eram previstas auditorias e verificações à qualidade do ar, mas estas foram eventualmente abandonadas em versões posteriores dos regulamentos. À data deste documento, tem-se assistido a novas discussões e pressões públicas para retomar essas auditorias. Nos edifícios residenciais, a única exigência atual faz-se pela imposição das taxas mínimas de ventilação que, admitidamente, é incapaz de garantir condições de salubridade se aplicada isoladamente.

As superfícies de contacto humano frequente, como corrimãos e manípulos de portas e gavetas, deveriam, idealmente, ser constituídas por ligas metálicas contendo cobre ou prata. Os exemplos mais comuns são o uso tradicional do latão e do bronze para estes propósitos. Quando tal não seja prático, poderá considerar-se também aço inoxidável como uma alternativa. O objetivo aqui será limitar a transmissão entre pessoas de bactérias e vírus via superfícies de contacto manual, uma vez que estas ligas metálicas impedem e matam de forma natural e automática estes agentes patogénicos.

6.2. Ventilação e Estanqueidade do Edifício

A regulamentação nacional exige, hoje em dia, níveis de ventilação nos edifícios residenciais de pelo menos 0.4 renovações de ar por hora, em contínuo. Já acima se apresentaram, no cap. 2.8, os argumentos pelos quais, não pondo em causa o cumprimento da lei, num *E²PA* tal não deverá ser o objetivo operacional efetivo. Começa logo por não ter qualquer sustentação nas efetivas necessidades de ventilação dos espaços, sem referência aos ocupantes, os quais, independentemente dos aspetos térmicos de aquecimento ou arrefecimento, requerem uma certa quantidade de ar novo para

alimentar a função respiratória. Para este fim, salvaguardadas as melhores condições ambientais, o valor mínimo por pessoa para assegurar a função respiratória é de 4 litros/segundo, ou seja, $14.4 \text{ m}^3/\text{hora}/\text{pessoa}$. Ora numa sala com $4 \times 4 \times 2.5 \text{ m}^3$ o valor legal acima significaria $16 \text{ m}^3/\text{h}$ independentemente do número de pessoas.

Os cálculos e métodos, de estimativa da ventilação, mesmo ao nível regulamentar, padecem de margens de incerteza enormes, a ponto de se tornarem irrealistas e pouco ou nada representativos. Este facto tem por vezes levado equipas de projeto, possivelmente bem-intencionadas, a recorrer à ventilação mecânica como forma de, face às incertezas das condições climatéricas locais e em particular dos ventos, garantir o objetivo das 0.4 renovações por hora, julgando que dessa forma estarão então a assegurar a boa qualidade do ar interior. Acontece que muitas vezes os próprios sistemas de ventilação não são operados ou mantidos da melhor forma, o que frequentemente resulta numa degradação efetiva da qualidade do ar interior ao fim de meros meses de utilização.

Um *E²PA*, pelo contrário, dá evidente primazia e prioridade à ventilação natural, mas reconhece os desafios que esta pode trazer, alavancando-se então nos mais recentes desenvolvimentos do conhecimento no âmbito da QAI e das tecnologias para propor uma estratégia simples, eficaz e (espera-se) razoavelmente barata de implementar (ver secção seguinte).

O objetivo será, primeiramente, garantir que do ponto de vista regulamentar o edifício cumpre os requisitos, tendo aberturas de ventilação dimensionadas de forma que os cálculos regulamentares resultem no cumprimento das 0.4 renovações por hora. Em modo operacional essas aberturas deverão poder ser abertas e fechadas conforme as necessidades efetivas.

A estratégia deverá ser capaz de acomodar também a natural abertura de portas e janelas sempre que assim aprover aos residentes, daí resultando que a ventilação resultante dessa ação pelos residentes tenha reflexo na operação de qualquer sistema de ventilação automática do edifício.

Para que haja efetiva capacidade de modelação e controlo da ventilação do edifício há também que assegurar a possibilidade de torná-lo praticamente estanque quando necessário. Isso quer dizer que a qualidade das caixilharias não deve ser descurada.

6.2.1. Implementação para uma ventilação suficiente

Assim, numa perspetiva prática e naquilo que deverá ser a abordagem seguida nos edifícios *E²PA*, a ventilação suficiente deverá ser conseguida de uma forma adaptada, mas segura, com uma estratégia que se apoie nas capacidades instrumentais de sensorização em tempo real de determinadas variáveis da qualidade do ar, quer interior quer exterior, acopladas a um algoritmo de decisão e capacidade automatizada de abertura e fecho de registos. Deverão então medir-se os níveis de determinados indicadores de qualidade do ar (frequentemente usando-se o CO₂ como ‘*proxy*’, mas também podendo monitorizar os níveis de compostos orgânicos voláteis (COV) e/ou matéria particulada (PM) num ou mais pontos no interior, escolhidos criteriosamente, dando desde logo prioridade aos espaços de maior e mais longa ocupação, numa posição próxima da meia altura e em relativa proximidade aos pontos de extração, para que as medições sejam capazes de acompanhar e estimar a exposição dos ocupantes às condições do ar interior. Este acompanhamento deverá ainda ser considerado na perspetiva de média móvel, sugerindo-se uma janela de medição que agregue entre 30 minutos e 1 hora de medições.

O edifício deverá ainda ter aberturas com registos mecanizados, tanto para permitir a entrada como a saída de ar, seguindo as boas práticas de desenho de sistemas de ventilação natural, nomeadamente, respeitando o posicionamento preferencial das entradas de ar, a baixa altura, nas divisões consideradas mais nobres, como quartos, salas e escritórios, e as saídas, numa altura mais elevada, nas divisões designadas por ‘húmidas’, como casas de banho e cozinhas. Nestas últimas há já uma imposição regulamentar que determina a existência de sistemas de extração forçada localizada, permitindo realizar mais eficazmente, porque próximo da fonte, a libertação para o exterior da humidade decorrente de atividades como banhos, duches e do cozinhar. Tem-se aqui presente uma lógica de movimentação horizontal do ar na casa, a qual, estando o volume do edifício todo fechado, far-se-á com duas direções pré-definidas: para a cozinha, desta forma, evitando que os odores desta se difundam pelo resto da casa; e para as casas de banho, por razões óbvias, não sendo despendida a exaustão tão rápida quanto possível da humidade produzida nomeadamente nos banhos evitando assim que essa humidade se estenda para zonas remotas onde, porventura, um deficit pontual de isolamento térmico das paredes possa propiciar o aparecimento de fungos ou bolores.

A informação decorrente dos sensores de qualidade do ar deve então alimentar um sistema mais ou menos simples de decisão e controlo que opere automaticamente as aberturas de ventilação natural e os ventiladores da extração conforme as reais necessidades e como garantia de manutenção de níveis adequados de qualidade do ar interior sem excessos de perdas térmicas por ventilação. Concretamente, quando se comecem a deteriorar os níveis de qualidade do ar, por exemplo para níveis de CO₂ entre 600 e 800 ppm, o primeiro estágio de intervenção do sistema deverá dar prioridade à ventilação natural, o que deverá ocorrer por simples abertura gradual dos registos de entrada e saída do ar. Potencia-se assim uma renovação do ar pelos processos dinâmicos da ventilação natural, portanto, independentes de qualquer consumo adicional de eletricidade em ventilação mecânica, sustentados e determinados pelos gradientes de pressão exteriores e térmicos interiores, posicionamento relativo das aberturas, resistências no percurso do ar, diferença de temperaturas com o ar exterior e os gradientes de pressão a que o edifício esteja sujeito no momento devido aos ventos no exterior.

Numerosas circunstâncias podem levar a uma degradação da qualidade do ar além dos limites estabelecidos pela lei ou, em casos de carência legal, pela OMS para o primeiro estágio de ação descrito anteriormente, nomeadamente, níveis de ocupação mais altos, atividade física dos ocupantes mais intensa, condições interiores e/ou exteriores desfavoráveis à ventilação natural, etc. Nessas circunstâncias será então necessário recorrer a uma ventilação mais intensa, podendo, para isso, alavancar-se na existência obrigatória dos extratores. Neste segundo estágio de ação, o sistema de decisão ativará, além da abertura total dos registos, também a operação dos extratores proporcionalmente aos níveis médios da qualidade do ar. Assim, os ventiladores poderiam ser ativados, por exemplo, quando os níveis médios de CO₂ atingissem os 800 ppm e fossem aumentando gradualmente até um máximo admissível de 1000 ppm.

Este algoritmo de decisão acolhe a total liberdade dos residentes em abrir portas e janelas conforme lhes apraz, sendo que tal opção se refletirá naturalmente nos níveis de qualidade do ar e, conseqüentemente, na própria operação do sistema de decisão para a ventilação, mas também da energia, quer no tempo frio quer no tempo quente.

A implementação deste sistema pode ainda ser feita com maior ou menor sofisticação, conforme o caso concreto de cada edifício e os meios financeiros disponíveis, e isto pode ser feito a dois níveis:

- o edifício pode ser subdividido em áreas correspondentes a circuitos de passagem do ar no seu caminho entre as entradas nos cômodos 'nobres' e as saídas nos 'mais húmidos'. Por exemplo, um quarto suite poderia constituir uma unidade de controlo, assumindo que o percurso principal do ar se faz entre uma entrada no quarto e uma saída na casa de banho que lhe corresponde. Nos casos em que não haja esta geometria, mas em que dois ou mais quartos estejam em proximidade a uma casa de banho, semelhante operação também deverá ser possível. Como último exemplo, na proximidade das salas de estar pode estar a cozinha, formando este par a base de mais um circuito independente. A vantagem de monitorizar e controlar cada um destes circuitos (ou cada uma destas áreas) independentemente deverá ser evidente, ao permitir seguir as condições reais de exposição com maior rigor e com resposta e controlo mais detalhado.
- o segundo nível de sofisticação diz respeito à possível incorporação de critérios de qualidade do ar exterior e condições climatéricas no próprio processo de decisão. Esta possibilidade levanta-se a partir do momento em que se tem por princípio que a resposta ao nível do controlo da qualidade do ar interior pode ter suficiente flexibilidade para que se possa antecipar ou atrasar as ações do algoritmo de decisão para aproveitar melhores ou evitar piores condições para ventilar. Por exemplo, o nível de perdas térmicas por ventilação é determinado, em muito, pelo diferencial entre as temperaturas exterior e interior. Ora, se a ventilação necessária puder ser atrasada ou adiantada para uma altura em que se antecipe temperaturas mais elevadas (no inverno) ou mais frescas (no verão) no exterior, pode facilmente colher-se um benefício (nomeadamente energético), potencialmente significativo e de graça. Outro exemplo será o da própria qualidade do ar exterior que, em determinadas alturas, pode não ser a melhor (queimadas próximas, horas de ponta de tráfego, fumos, pólenes, etc.). Nesses casos pode também haver um benefício em promover a ventilação num período desfasado do 'ideal' determinado pelo algoritmo descrito anteriormente, neste caso minimizando a in-cursão de poluentes do exterior ou carregando menos os filtros que porventura possam ter sido instalados nas aberturas de entrada³⁹.

39 O uso de filtros nas aberturas de entrada poderá não ser apropriado e deve ser bem ponderado uma vez que limitará, com o incremento substancial da resistência ao fluxo de ar, o potencial da ventilação natural. Na lógica do algoritmo que aqui se propõe isso pode levar a uma degradação dos níveis médios de qualidade do ar interior e/ou ao recurso mais frequente à extração forçada, com os respetivos custos em termos de consumo de eletricidade. Em contrapartida, em localizações onde a qualidade do ar exterior possa padecer frequentemente de problemas, o seu uso pode ainda assim ser justificado.

O que aqui se deixa remete para uma implementação mais cuidadosa e criteriosa do projeto de ventilação do edifício, porventura mais complexa do que a tradicional em edifícios residenciais, mas certamente mais simples e menos dispendiosa do que as de grandes edifícios de serviços. Toda a tecnologia necessária para montar um sistema deste tipo deverá existir, mas porventura ainda não com o formato específico aqui sugerido.

7. Sistemas Técnicos de Apoio

7.1. Utilização de Água

Seguindo a lógica de suficiência que é basilar para os objetivos perseguidos por este *vade-mécum* e que deverá caracterizar um E^2PA , no que refere ao uso de águas (quentes e frias) deverá primeiro assegurar-se que é feito com tanta frugalidade quanto possível. Assim, a primeira frente de ataque

deverá ser a garantia de que todas as torneiras, cabeças de chuveiro, autoclismos e equipamentos de lavagem são tão frugais no uso da água quanto tecnicamente possível. Recentemente tem havido um conjunto de desenvolvimentos técnicos relevantes que ajudam substancialmente a atingir estes objetivos.

Nos eletrodomésticos a certificação energética criou uma razão económica para que as empresas implementassem reais melhorias na utilização da energia e da água, uma vez que esses parâmetros passaram a ter muito maior visibilidade para o consumidor final e dessa forma passaram a poder ser contabilizados na hora de adquirir um novo equipamento. Num *E²PA* a prioridade nesta frente deverá ser sempre pelos eletrodomésticos mais eficientes e que naturalmente tenderão a utilizar também menos água.

Nos autoclismos, a descarga dupla é hoje em dia o convencional, mas há sistemas que oferecem desempenhos recorrendo a muito menos água, jogando com a geometria das sanitas e com o percurso e pressão hidráulica da água de autoclismo. Uma vez mais, deverão priorizar-se sistemas que tenham especificações testadas e certificadas com volumes de autoclismo mais baixos.

Por último, nas torneiras e chuveiros, há hoje em dia uma diversidade imensa de soluções no mercado português, cobrindo toda a gama de fluxos desde cerca de 6 litros por minuto até mais de 30 para chuveiros. Há então de questionar que benefício trará um chuveiro de 30 litros por minuto sobre um de 6 que possa justificar o uso de 5 vezes mais água e 5 vezes mais energia necessária para a aquecer. Num *E²PA* a balança nestas decisões deverá pender francamente para o lado da poupança de água e menos para os argumentos estéticos ou operacionais que pressionem no sentido de instalar soluções mais desperdiçadoras de água.

Ainda no capítulo das torneiras e chuveiros, têm também surgido recentemente, principalmente no mercado internacional, soluções que fazem uso de tecnologia de ejetores e que permitem dispersar o fluxo de água em gotículas muito mais pequenas que as de outras soluções eficientes. Com isso, argumentam os construtores, consegue-se obter um efeito de lavagem semelhante ao de uma torneira ou chuveiro convencional, mas usando substancialmente menos água, da ordem dos 2 a 3 litros de água por minuto. Para torneiras, há inclusivamente soluções de bocais, instaláveis em qualquer torneira convencional, que permitem alternar manualmente entre modo de ejetor e modo convencional, conforme seja mais adequado para o uso.

Por último, no capítulo de dispositivos e estratégias para poupança de água (e indiretamente também energia, quando seja de água quente que se está a falar) podem ser consideradas: torneiras de lavatórios automáticas com sensores, principalmente onde o seu uso seja maioritariamente para a lavagem de mãos, como por exemplo em pequenas casas de banho de serviço; nos chuveiros podem usar-se válvulas/botões de corte, que permitem comodamente fechar e abrir a torneira imediatamente, sem que seja necessário estar novamente a tentar ajustar a temperatura e pressão da água, como frequentemente pode acontecer com as soluções convencionais; os espaços de duche devem também ser quase totalmente fechados, admitindo alguma passagem de ar junto ao chão, por exemplo na zona de entrada, o que promove um ambiente em geral mais confortável no seu interior, assim promovendo duchas mais curtas (além de limitarem também a incursão da humidade para o resto da casa, isto assumindo-se que a extração local se instala em local apropriado dentro desse espaço de duche); o uso de torneiras termostáticas, particularmente em duchas, beneficiará também a comodidade dos residentes e torna o duche mais resiliente às potenciais flutuações nas temperaturas e pressões relativas do circuito de água quente e fria, resultando igualmente em potenciais poupanças de água ao promover uma satisfação mais efetiva do utilizador e consequentemente duchas mais curtas.

Infelizmente a regulamentação atual não contabiliza nem premeia os benefícios ambientais deste tipo de soluções de muito baixo fluxo. No sistema de certificação energética é considerada a eficiência hidráulica das torneiras e chuveiros que, caso sejam todas certificadas com classe A ou melhor, resultam numa redução em 10% do valor calculado para as necessidades de energia para águas quentes sanitárias. Também aqui o cálculo deixa muito a desejar, uma vez que a estimativa é atualmente feita assumindo um determinado número de pessoas (definido pela tipologia do edifício e não pelo número de residentes que virão a habitar a casa), sendo que cada uma necessitará, em média, de 40 litros de água quente diários, que terão sido aquecidos pelo menos 35°C entre a temperatura da água fria (geralmente da rede) e a temperatura da utilização final. Desta forma, por exemplo, um apartamento T3 com um casal ou uma vivenda com 3 quartos e uma família de 5 apresentam as mesmas necessidades de água quente perante o SCE, independentemente da localização da residência, do número de residentes efetivos ou dos seus hábitos de uso.

Do ponto de vista da térmica, será igualmente relevante garantir que todas as tubagens de água quente deverão ser isoladas termicamente. A

regulamentação nacional tem já requisitos mínimos para esse parâmetro⁴⁰, mas deverá ser ponderado se num E^2PA não se deverá ir mais além nos níveis de isolamento, assim se reduzindo as possíveis perdas térmicas. A distância percorrida pela água quente até aos locais de utilização também deverá ser minimizada tanto quanto possível, uma vez que este fator terá impacto tanto na magnitude das perdas térmicas (ainda mais agravado se houver recirculação da água quente), assim como nos custos com tubagens isoladas e com o possível tempo de espera até que a água aquecida esteja disponível no ponto de utilização (isto nos casos em que não haja circuitos de recirculação). Isto poderá determinar que a melhor opção num E^2PA seja a inclusão de um sistema de acumulação térmica (depósito) em posição relativamente central no volume da casa e em proximidade à maioria das casas de banho e, potencialmente, também à cozinha e máquinas de lavar (se estas admitirem entrada de água quente). Esta possibilidade, agregada ao argumento de não recurso a processos de combustão nos E^2PA , poderá preconizar a utilização de soluções de bombas de calor não integradas com os depósitos (como tem sido relativamente comum encontrar no mercado nacional), quer para exclusivo aquecimento das águas quer como possível apoio a sistemas de captação solar térmicos (ver cap. 7.4).

No sentido de, simultaneamente, poupar alguma água e aumentar a comodidade para os residentes, é bastante comum, principalmente noutros países, utilizarem-se sistemas de recirculação de água quente, cuja operação possibilita a disponibilidade quase imediata de água quente nos locais de utilização. Esta prática não é ainda muito usual em Portugal, o que tem frequentemente determinado que, um pouco como acontece com o conforto interior, a cultura local se tenha acomodado e aceite o possível desconforto quer na lavagem de mãos com água por vezes gélida quer nas (por vezes longas) esperas em duchas e banhos pela chegada da água quente. Há diversas tipologias de opções para recirculação de água, todas elas tentando chegar ao melhor compromisso entre disponibilidade imediata de água quente e poupança energética, quer na eletricidade para fazer correr a bomba de recirculação, quer nas inevitáveis perdas térmicas pelas tubagens. Se por um lado há algum potencial para poupar água, por outro há também um grande potencial de efeito *'rebound'* associado ao maior conforto e maior disponibilidade da água quente (por exemplo, a maioria das famílias passaria a lavar as mãos com água quente em vez de o fazer com água fria, como seria mais tradicional). A possível situação de compromisso aqui poderá passar por fornecer a possibilidade de recirculação aos

40 Portaria n.º 349-B/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29.

residentes, mas, por exemplo, incluir sistemas de temporização de operação (quer horário quer sazonal), utilizar torneiras termostáticas (porventura ajustadas para temperaturas mais moderadas onde tal seja aceitável, como por exemplo nos lavatórios), bem como sensibilizar os residentes que deverão ter alguma moderação e responsabilidade na utilização da água quente.

Uma última hipótese de redução das necessidades de energia para águas quentes sanitárias passa pelo recurso a dispositivos de recuperação de calor em duchas. Estes equipamentos passivos fazem passar a água fria que irá misturar com a quente por um processo prévio de pré-aquecimento em contacto com a água rejeitada pelo ralo do duche, assim aproveitando uma parte do calor que se perderia. Face à possibilidade de os fluxos de água poderem ser bastante baixos se se implementarem as soluções sugeridas acima, este tipo de solução poderá não ser custo-eficaz num E^2PA , até porque a eficiência de recuperação térmica destes sistemas depende de fluxos de água mais típicos (geralmente projetados e dimensionados para funcionar otimamente com cerca de 9 litros por minuto).

7.2. Sistemas de Aquecimento

A maioria dos aspetos discutidos acima, com a possível exceção dos sistemas de recirculação, deverá ter significativo impacto não só nos volumes de água e nas necessidades de energia para as aquecer, como também na redução substancial da dimensão dos sistemas técnicos necessários para esse fim. Às águas quentes sanitárias podem-se adicionar também as funções de aquecimento ambiente hidráulico, recorrendo quer a radiadores, quer a sistemas de piso radiante, o que poderá reduzir a complexidade dos sistemas técnicos bem como o seu custo total.

Do ponto de vista de balanço térmico do edifício, a tipologia de sistema de aquecimento do espaço, quer aqueça mais por radiação, por condução ou convecção, não é significativa, uma vez que, no fundo, todos cumprem o desígnio de injetar o calor necessário. Contudo, do ponto de vista da utilização real, cada tipo de sistema apresenta vantagens e desvantagens que devem ser ponderadas face às condições de utilização dos espaços e às estratégias de aquecimento. Por exemplo, um sistema radiativo (lareira, irradiador de infravermelhos, etc.) providenciará uma sensação de aquecimento mais instantânea num pequeno raio em torno do equipamento, mas não aquecerá o volume ou as superfícies significativamente mais depressa do que qualquer outro sistema que injete igual quantidade de calor no espaço. Por outro

lado, um sistema de piso radiante terá um tempo de resposta muito mais lento, não sendo, portanto, o mais adequado em espaços em que a ocupação e/ou o aquecimento se faça mais pontualmente e por curtos períodos. Os radiadores hidráulicos ou a óleo situar-se-ão algures entre os dois exemplos anteriores, tendo um tempo de resposta mais rápido do que o piso radiante e uma componente radiativa menos intensa que os irradiadores de infravermelhos ou lareiras. A diversidade de opções no mercado é muito extensa, cada uma com vantagens e desvantagens face às condições particulares do edifício e sua utilização. No fundo, é importante adequar os tempos de resposta do aquecimento em relação à estratégia de aquecimento antecipada para os espaços, o que, a não acontecer, resultará geralmente em condições de desconforto e incremento do uso de energia. Há igualmente que priorizar as soluções que sejam ambientalmente mais favoráveis (i.e., ao nível de energia primária requerida e respetiva fonte energética).

No passado verificava-se frequentemente algum desajuste das potências de aquecimento de águas, que eram em geral exageradas para as necessidades em Portugal, uma vez que muitos dos sistemas eram fabricados por empresas multinacionais e projetados para as condições de outros países onde as necessidades de aquecimento ambiente e de águas seriam naturalmente mais exigentes. Esta situação foi maioritariamente corrigida na última década com o surgimento de soluções mais ajustadas às reais necessidades nacionais.

Contudo, apesar de num E^2PA as necessidades de modulação das potências dos sistemas de apoio serem ainda mais exigentes, em consequência de fluxos de águas sanitárias mais baixas e necessidades menores de aquecimento ambiente, as características dos sistemas que venham eventualmente a ser implementados eliminam por completo esse desafio. Com efeito, os sistemas atualmente mais eficientes e adequados para um edifício de elevado perfil ambiental tenderão a incluir sempre uma capacidade de armazenamento que, na prática, desacopla em grande medida a utilização de água quente e o seu aquecimento. Não obstante, seja pelo recurso a sistemas solares térmicos, seja pela utilização de bombas de calor, há sempre a necessidade de ter um depósito de água quente no sistema.

Apesar de existirem sistemas à base de combustão já bastante eficientes, como, por exemplo, caldeiras de gás natural com condensação, que conseguem atingir eficiências efetivas de conversão de energia química em energia térmica na água próximas de 100%, estes não deverão ter lugar num E^2PA . Isto porque, por um lado, não há sistemas de combustão que sejam

totalmente 'limpos' à escala do ambiente local e/ou do ambiente global. Os sistemas de gás natural, propano ou butano (não se admitindo aqui sequer a possibilidade dos sistemas a diesel/óleo de aquecimento), por muito eficientes que sejam, usam sempre fontes fósseis, o que determina logo que as suas emissões contribuirão para o incremento de gases com efeito de estufa.

Por outro lado, sistemas à base de biomassa, ainda que renováveis (logo, geralmente reconhecidos como inócuos em termos do ambiente global), têm sempre um impacto local sobre a qualidade do ar, libertando quantidades substanciais de partículas de combustão. Adicionalmente, particularmente no caso das '*pellets*', há uma certa quantidade de energia incorporada, pelo menos parcialmente de fontes fósseis, quer no processamento e fabricação das '*pellets*', quer no seu transporte para o local de utilização (este último desafio também aplicável à biomassa renovável em geral).

Dito isto, pode haver espaço para a incorporação de lareiras ou salamandras num *E²PA*, particularmente numa perspetiva de oferecer um conforto visual e psicológico que geralmente está associado à presença de um fogo vivo num espaço. Nesse caso, deverá considerar-se essa fonte de calor como secundária para o aquecimento ambiente (ou de águas), assumindo-se só um uso esporádico da mesma. A incorporação de lareiras ou salamandras deverá ser mais favorecida em circunstâncias em que o edifício se encontre próximo de meio rural (i.e., com fornecedores de lenhas próximos) ou, melhor ainda, se for uma casa de campo com produção própria de resíduos florestais (por exemplo, de podas ou mesmo abate de árvores esporádico).

Ainda no capítulo das lareiras e salamandras, quando existam, deve assegurar-se que, tecnicamente, estas tenham o menor impacto negativo quer na qualidade do ar interior quer nas perdas térmicas. Assim, o uso de lareiras abertas fica imediatamente excluído enquanto opção, restando, portanto, salvo lareiras com recuperação de calor ou salamandras fechadas. Adicionalmente, estas devem ter uma construção tão estanque quanto possível e a alimentação do ar de combustão (posteriormente expelido pela chaminé) deverá vir diretamente do exterior, em tubagem própria. Esta solução elimina qualquer cruzamento ou mistura entre o ar interior e o ar que vai ou passou pela combustão, reduzindo-se a possibilidade de passagem de partículas de combustão para o interior ou da perda de ar interior para o exterior.

De facto, quer numa lógica de aproveitamento local de fontes energéticas renováveis quer numa perspetiva sistémica de médio/longo prazo, o único vetor que já é ou tem o potencial de vir a ser 100% renovável e isento de emissões de gases com efeito de estufa é a eletricidade, daí que todos os

planos de ação para prevenção (ou desagramento) das alterações climáticas antecipem um processo de eletrificação de todo ou pelo menos parte do sistema energético que venha a potenciar uma sociedade de muito baixo impacto ambiental. Um E^2PA deve já ser pensado e construído como um edifício de e para o futuro, em consonância com os valores de então.

Assumindo então a eletricidade como o vetor energético 'limpo' por excelência, um E^2PA deverá quase certamente vir a apoiar-se num sistema de bomba de calor para providenciar da forma mais eficiente o calor necessário. Restará decidir, para cada caso e perfil de utilização, se o sistema deve ser autónomo ou se deverá constituir meramente um apoio a um sistema solar térmico.

Apesar de ser uma realidade praticamente inexistente, ainda, em Portugal, há também a possibilidade de surgirem, em determinados empreendimentos residenciais, redes urbanas de distribuição de calor, preferencialmente alimentadas por fontes renováveis de calor e/ou calor excedente da indústria. Nestes casos, a centralização da produção e gestão do calor tende a resultar num benefício ambiental efetivo quando comparado com outros sistemas convencionais. Se estes existirem na área de implantação de um novo edifício, então a ligação à rede de calor deverá ser bem ponderada e equacionada no seu potencial. Esta é, por exemplo, a situação dos edifícios no Parque das Nações, que têm acesso à rede urbana de calor e frio da Climaespaço, construída aquando da Expo98.

7.3. Sistemas de Controlo e Operação do Edifício

É condição fundamental para um E^2PA que existam automatismos de controlo de diversos aspetos operacionais do edifício, sempre com o objetivo de maximizar o potencial de conforto adaptativo e a qualidade do ar interior, maioritariamente de forma passiva. No fundo, o que se propõe não é um edifício puramente passivo, mas sim um em que as condições de operação em modo passivo vão sendo ajustadas automaticamente.

Num E^2PA há pelo menos dois sistemas essenciais de sensorização e automação (não se excluindo a existência de outros), a saber: sombreamento e ventilação. Com estes dois sistemas dá-se ao edifício capacidade de modulação de duas das componentes mais importantes de ganhos e perdas térmicas, fatores determinantes para o grande objetivo de garantir espaços confortáveis e saudáveis com o mínimo de necessidades de energia comercial.

Quando do sombreamento, há dois parâmetros fundamentais para o funcionamento do algoritmo de decisão: temperatura interior do espaço e radiação exterior disponível (direta, de preferência). No nível mais básico de operação do algoritmo este simplesmente recolhe (ou ativa) quaisquer que sejam os elementos de sombreamento móveis do edifício para permitir (ou não) a entrada da radiação direta quando a temperatura interior esteja abaixo (ou acima) de um determinado limiar, definido pelas considerações de conforto adaptativo discutidas em 2.7, e se houver radiação direta disponível. Existirá um período em que, mesmo não havendo radiação direta, o contributo da luz difusa possa ser benéfico do ponto de vista energético e de conforto luminoso (por exemplo nos períodos de alvorada ou crepúsculo, ou mesmo quando os céus estejam nublados), podendo afinar-se o algoritmo para que mantenha o sombreamento recolhido nestas alturas (particularmente se os espaços estiverem ocupados).

No caso de existirem portadas cegas (preferencialmente com isolamento térmico), estas poderão/deverão ser controladas de forma concertada com os elementos de sombreamento, porventura podendo manter-se fechadas, por exemplo, em dias de muito frio no exterior e em que o potencial contributo solar seja reduzido ou inferior às perdas térmicas por condução. Esta faculdade será particularmente relevante quando os residentes não estejam em casa (por exemplo, tendo saído para o emprego), assim se reduzindo as perdas térmicas pelos vãos envidraçados sem o impacto negativo de se manter o edifício sem iluminação natural quando haja ocupação humana. Anotecendo, as portadas deverão, por defeito, fechar-se com a exceção feita, porventura, aos períodos de muito calor, em que possa ser benéfico mantê-las abertas para favorecer a dissipação do calor interior durante o período noturno.

Quanto à ventilação (natural), o parâmetro de controlo essencial é o nível de CO₂ interior. No cap. 6.2.1 já se apresentaram diversas considerações sobre a implementação do controlo da ventilação, ficando claro que a correta localização dos sensores de qualidade do ar é essencial, bem como a existência preferível de vários circuitos de ar controlados independentemente. A presença efetiva ou não de pessoas nos espaços não deverá ser determinante para o controlo da ventilação, dado que mesmo após a saída das pessoas o ar pode necessitar de renovação continuada para o limpar dos bioefluentes e o deixar pronto para o próximo período de ocupação. De igual forma, o ingresso temporário de alguém num espaço não deverá determinar imediatamente a necessidade de ventilação, dado que o seu impacto na qualidade do ar poderá ser negligenciável e perfeitamente acomodado pelas infiltrações de ar inevitáveis em qualquer edifício.

Um nível de sofisticação superior, a considerar implementar ou não conforme a complexidade e custo associado, poderá tentar melhor adequar os períodos mais favoráveis, por exemplo quando as temperaturas exteriores sejam mais amenas, à abertura dos registos de ventilação e/ou ventilação forçada com os ventiladores. Para isso seria necessário incorporar também no algoritmo de decisão a informação sobre a temperatura exterior. Surgirão então dois níveis de operação diferentes: num primeiro modo o objetivo do algoritmo continua a ser manter níveis elevados de qualidade do ar interior, mas tentando reduzir o impacto energético da ventilação; num segundo modo o objetivo do algoritmo passa a ser o da otimização do conforto interior em períodos de calor (usualmente designado por *'free-cooling'*), permitindo ventilar mesmo que os níveis de CO₂ nos espaços sejam baixos.

No primeiro modo de operação o algoritmo antecipa ou atrasa a abertura dos registos e/ou ativação da ventilação forçada dependendo das temperaturas do ar exterior e interior. Uma forma simplificada de implementar esta lógica poderá passar pelo reajuste da sensibilidade/resposta do sistema (ou seja, das curvas de associação entre nível CO₂ e operação dos registos e extratores). Por exemplo, em vez de os registos abrirem gradualmente entre os 600 ppm e 800 ppm, passarem a abrir só entre os 700 ppm e 900 ppm nas alturas mais frias do dia (como seja antes do nascer do sol e início da manhã). O resultado deverá ser que nos períodos do dia com maior diferença térmica interior/exterior, no inverno, a ventilação é reduzida, aceitando temporariamente níveis de CO₂ um pouco mais elevados. Uma outra alternativa mais complexa passaria por verificar as previsões meteorológicas e ajustar a sensibilidade do algoritmo antecipando que as condições sejam mais favoráveis num determinado período do dia.

O segundo modo de operação, particularmente relevante durante os dias mais quentes do ano, abriria completamente os registos de entrada de ar e potencialmente ativaria os extratores durante os períodos mais frescos da noite. Este processo seria ativado quando a amplitude térmica diária fosse elevada, determinando que em dado período noturno as temperaturas exteriores venham a estar abaixo das interiores e que estas últimas estejam próximas (ou além) dos limites máximos de conforto térmico adaptativo. Este processo resultará num arrefecimento dos espaços, preferivelmente durante um período noturno relativamente longo, que potenciará a extração de calor dos elementos massivos interiores, assim por deixando-os mais capazes de amortecer incursões de calor durante os períodos mais quentes do dia seguinte.

Um outro automatismo que pode ter também algum potencial de redução do consumo de eletricidade é o do controlo automático da iluminação artificial. O maior argumento para tal até será mais de comodidade dadas as baixas potências que hoje em dia são necessárias para garantir iluminação. Como já referido em 5.2.1, na sua implementação mais simples podem usar-se sensores de presença para ligar ou desligar lâmpadas, o que pode ser particularmente útil em espaços de passagem ou de acesso momentâneo e/ou esporádico, como sejam corredores, arrumos, casas-de-banho de serviço, etc. Para espaços de permanência mais alongada teria primeiro que se assegurar que a tecnologia de deteção de presença se faz de forma mais eficaz do que o tradicional sensor de movimento que tende a assumir a inexistência de ocupantes se não houver movimento regular no compartimento. Este parece ser um desafio que ainda não possui resposta de mercado concreta. Em adição ao controlo *on/off* da iluminação, há ainda um potencial contributo do controlo dos níveis de iluminação dos espaços, permitindo transitar de um regime de iluminação natural para um de iluminação artificial de forma gradual. Usando sensores de luminosidade no interior, pode então controlar-se a intensidade da iluminação, nos momentos em que esta seja necessária, para evitar excessiva iluminação artificial em períodos em que haja ainda contributo da iluminação natural. Adicionalmente esta potencialidade permite também ao utilizador reduzir a intensidade da iluminação quando assim o entenda e com determinado propósito. Por exemplo, é sabido que pode causar algum cansaço visual ver televisão em escuridão, dado que o contraste entre esta e o espaço circundante poderá ser elevado. Nesta circunstância, é normal as pessoas manterem a iluminação acesa, com o propósito de reduzir esse contraste, mas mesmo níveis relativamente modestos de luz adicional no espaço podem já cumprir totalmente esse objetivo, sendo o remanescente, portanto, excessivo (e porventura até desconfortável devido a possíveis reflexos visíveis no ecrã).

Qualquer um dos sistemas de controlo acima, quer de sombreamento quer de ventilação, não deverá em ponto algum limitar a liberdade de escolha dos residentes e operação manual quer desses mesmos sistemas quer de outros que tipicamente se considerariam vir a interferir no seu bom funcionamento. Exemplo disto será a abertura de janelas e portas que usualmente se considera negativa em edifícios com ventilação mecânica e sistemas de ar condicionado. Num *E²PA* as pessoas podem (e devem) abrir janelas e portas quando assim o entenderem e isso não irá interferir negativamente na ventilação, uma vez que a renovação de ar decorrente dessa ação do utilizador já contribuirá e será automaticamente 'contabilizada' pelo sistema de automação. É certo que é possível que as ações dos utilizadores venham

a ter um impacto negativo, seja nas necessidades de energia para aquecimento, seja para a qualidade do ar ou até do conforto interior, mas esse não deve ser um critério inibidor. Por um lado, o utilizador deve ser informado e instruído nos aspetos de boa operação do edifício e dos potenciais impactos das suas ações. Por outro lado, deve lembrar-se que há aspetos do conforto adaptativo que são psicológicos, nomeadamente quanto às expectativas de conforto das pessoas quando lhes é potenciada maior proximidade com o ambiente exterior e/ou quando estas sentem ter liberdade de ação (mesmo que não lhe façam uso).

As interfaces humanas para acesso à informação e controlo manual eletivo devem ser tão simples quanto possível, mas tão eficazes quanto necessário para que seja cómodo ao utilizador verificar e modificar o que quiser. Devem igualmente poder ser integradas no menor número de subsistemas, preferindo, se possível, um único sistema com comunicação global e visualização simples de todos os estados. Apesar de atualmente se ter vindo a privilegiar o uso dos telemóveis como meio de interação com alguns sistemas de automação, pode ser restritivo e/ou pouco cómodo que essa seja a única forma de interagir com os sistemas da casa. Desde logo as pessoas podem não ter junto a si o telemóvel o tempo todo. Por outro lado, há coisas que devem poder ser acionáveis imediatamente e em locais específicos. São claros exemplos disso o controlo do sombreamento e da iluminação, ambos localizados e sujeitos a uma apreciação imediata do conforto visual pelo operador dos controlos. Adicionalmente, numa perspetiva de longevidade, resiliência e resistência à obsolescência destes sistemas, deve priorizar-se, sempre que possível, interfaces físicas de controlo direto e não dependentes de hardware e software exógeno ao próprio sistema. Uma vez mais os telemóveis podem não constituir uma boa opção nesta frente, particularmente se constituírem a forma exclusiva de acesso e controlo do sistema, dado que estes se substituem com muita frequência, por vezes anualmente, e que os próprios sistemas operativos têm estado sujeitos a desenvolvimentos muito rápidos, por vezes resultando em incompatibilidades com software mais antigo. Adicionalmente, sistemas que tenham ampla aceitação no mercado e que sejam abertos e não-proprietários devem ser preferidos, uma vez mais numa lógica de evitar que a longevidade do sistema seja posta em causa. Assim, não se pretendendo limitar demasiado ou ser prescritivo neste *vade-mécum*, deixa-se somente esta palavra de cautela.

Além do sombreamento e ventilação (e do potencial controlo de portadas e iluminação), há todo um conjunto de automatismos que podem ser também explorados, muitos deles de baixo ou nenhum impacto nas questões

da energia ou do elevado perfil ambiental que guiam este *vade-mécum*, por exemplo, sistemas de segurança, controlo de acessos, controlo de eletrodomésticos à distância, etc. O *E²PA* não renuncia à existência destes, mas também nada deve ter a dizer quanto à sua utilidade, que deve ser então deixada a outros critérios e preferências.

7.4. Fontes Renováveis de Energia

Dir-se-á, talvez de forma demasiado simplista e deixando como tratado acima que o principal coletor solar deverá ser o edifício em si, que atualmente há três (ou quatro) grandes tecnologias ou formas de aproveitamento de fontes renováveis de energia de proximidade, nomeadamente: solar térmico, solar fotovoltaico e biomassa (e, dependendo do critério, também bombas de calor). Nenhum destes sistemas é 'edifício', mas, a ele acoplados, poderão colmatar as necessidades que não tenham sido tratadas explorando a suficiência energética, com uma energia de origem renovável, assim se reduzindo o impacto ambiental.

Cada uma das opções acima tem óbvias vantagens e desvantagens, pelo que a seleção e dimensionamento de um sistema composto por uma ou mais destas tecnologias deva ser projetada de forma sensível quer às necessidades efetivas do edifício, quer à sua tipologia. Não se pretende aqui prescrever soluções nem fazer recomendações, mas sim levantar considerações que devem ser tidas em conta no processo de projeto e dimensionamento dos sistemas.

Desde logo, do ponto de vista regulamentar, há correntemente uma obrigatoriedade de aproveitamento mínimo de fonte renovável local, primariamente para aquecimento de águas, definida como aquela quantidade de energia que se obteria usando um sistema de referência. Este consiste num coletor solar térmico, com uma área de 0.65 m² por ocupante convencional⁴¹, cumprindo um conjunto de requisitos técnicos de eficiência, em particular instalando-o com orientação a Sul e inclinação de 35°. Fica assegurado, contudo, que qualquer fonte renovável de energia é contabilizada, desde biomassa até fotovoltaico ou mesmo energia térmica fornecida por bomba de calor.

41 O número de ocupantes convencionais é determinado de acordo com a tipologia do edifício. Por exemplo, num T3 assume-se que residirão 4 pessoas; num T1 serão 2 pessoas.

Antecipa-se que o panorama regulamentar venha a sofrer mudanças significativas nos próximos anos, visto o disposto na diretiva europeia (EPBD) determinar que a partir de 2021, todas as novas construções ou grandes intervenções deverão ser *'nzeb'* (ver cap. 2.4).

É preciso lembrar que um *E²PA*, quando corretamente desenhado e construído, deverá ter muito baixas necessidades de energia, pelo que as considerações de custo-eficácia de diferentes tecnologias ficarão certamente alteradas. Por um lado, os sistemas de aquecimento ambiente e de águas quentes terão certamente potências muito inferiores às de edifícios mais convencionais, quer porque as perdas térmicas pela envolvente são muito menores, quer porque os ganhos solares serão mais bem aproveitados, quer ainda porque os fluxos e volumes de água quente usados são menores. Por outro lado, mesmo que as necessidades relativas de energia, quando comparadas às de edifícios mais tradicionais, sejam menores, as necessidades absolutas podem ainda assim justificar a instalação de sistemas mais complexos e/ou potentes. Por exemplo, em edifícios onde coabitem famílias grandes, com grandes áreas úteis, com piscinas aquecidas ou ginásios, etc. as necessidades de calor podem ser muito substanciais mesmo se implementados os princípios deste *vade-mécum*.

Quanto às tecnologias de aproveitamento da energia solar, quer térmico quer fotovoltaico, deve considerar-se o que se apresenta de forma gráfica na Figura 34. O que fica imediatamente evidente é que a orientação dos painéis solares (térmicos ou fotovoltaicos) é mais flexível do que normalmente se considera. Isso quer dizer que a integração dos painéis nas estruturas do edifício admite uma amplitude de soluções que as compatibiliza técnica e esteticamente. Não faz, portanto, sentido colocar, como ainda de vez em quando se vê, painéis sobre estruturas metálicas em ângulos totalmente discordantes com a estética e geometria dos edifícios, porventura até mais caras e inseguras, com o intuito de vir a otimizar a produtividade dos painéis. Como em todos os outros aspetos discutidos neste *vade-mécum*, é essencial ser razoável e sensato no projeto e instalação destes sistemas.

Em termos comparativos, os sistemas solares térmicos são substancialmente mais eficientes na conversão da radiação solar em calor do que os fotovoltaicos são na conversão em eletricidade. Pode-se considerar que estes últimos podem ter eficiências (i.e., energia convertida *versus* radiação solar incidente) a rondar os 20%, enquanto os primeiros podem atingir facilmente valores acima dos 50% (ambos os valores dependendo da tecnologia específica e das condições operacionais). Assim, em

situações em que o objetivo final seja o aquecimento de águas ou ambiente e haja restrições de espaço onde colocar os painéis, dir-se-ia que a opção solar térmica poderá ser preferida. Na ausência de restrições de espaço, a comparação já será mais complexa e os argumentos a favor dos painéis fotovoltaicos podem vir a torná-los a solução preferível. Em particular, a eletricidade é um vetor energético substancialmente mais flexível e útil do que o calor. Por exemplo, havendo excedente de radiação solar para as necessidades, a eletricidade de um sistema fotovoltaico pode ser acumulada em baterias ou injetada na rede, enquanto o calor excedente de um sistema solar térmico terá que ser dissipado (leia-se desperdiçado) de alguma forma (o que pode por si só constituir um desafio técnico).

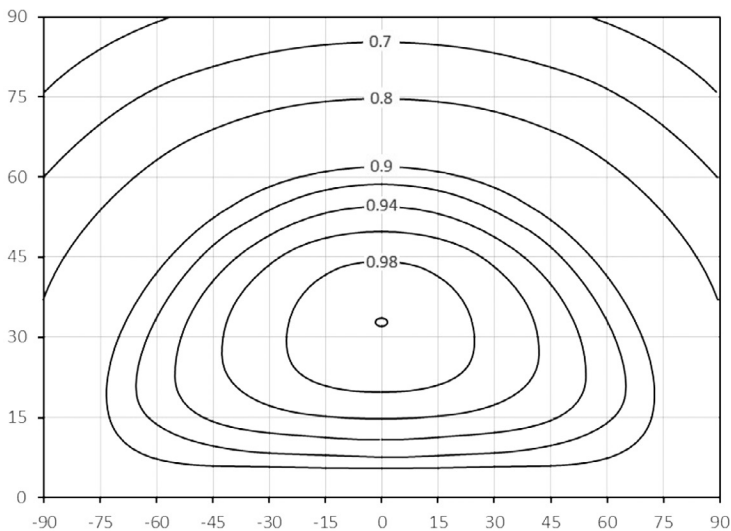


Figura 34 Quantidade relativa, em comparação ao aproveitamento máximo possível, de produção de eletricidade num painel fotovoltaico, em função da sua orientação (cumulativamente para o período de um ano).

Adicionalmente, se acoplado a um sistema de bomba de calor (que, dependendo das condições operacionais, pode oferecer coeficientes de desempenho (COP) superiores a 3, isto é, 'produzir' 3 unidades de calor por cada unidade de eletricidade usada), a eficiência total dos sistemas pode vir a ser muito comparável (mantendo-se que ambas as soluções serão baseadas a 100% na mesma fonte renovável de energia).

Face às recentes alterações regulamentares com impacto na remuneração da eletricidade injetada na rede e às regras mais apertadas relativamente à produção de eletricidade renovável em regime de autoconsumo, o argumento para o recurso a armazenamento elétrico local em baterias tornou-se substancialmente mais relevante. Com um conjunto alargado de soluções a surgirem no mercado, cada vez a preços mais competitivos e cada vez mais integradas e capazes tecnicamente, a instalação de baterias tem-se tornado cada vez mais aliciente enquanto medida potenciadora da produção de eletricidade com painéis solares fotovoltaicos. Na prática, a bateria permite desacoplar parcialmente a produção e o consumo elétrico, aproveitando-se, portanto, uma fração substancialmente maior da eletricidade renovável produzida localmente em vez de a injetar na rede a preços que, no presente mercado aberto, podem ser desinteressantes. Durante longos períodos do ano, um *E²PA*, mesmo com sistemas modestos de solar fotovoltaico e bateria, poderá operar em regime de total autonomia e independência da eletricidade da rede nacional, evitando-se assim as emissões incorporadas desta⁴².

Por outro lado, há questões de complexidade e custo das soluções que poderão vir a favorecer uma vez mais os sistemas fotovoltaicos quando se estiver a almejar um edifício que tenha um impacto mínimo ambiental. Se se assumir um objetivo de aquecer o ambiente interior e as águas sem emissões diretas ou indiretas de gases com efeito de estufa, o espetro de soluções disponíveis reduz-se substancialmente, com possibilidades, entre outras, como: fotovoltaico (com ou sem bateria) e bomba de calor; solar fotovoltaico mais térmico com apoio de resistência elétrica ou bomba de calor; solar térmico com apoio de caldeira a biomassa. Assim, assegurando que as soluções ponderadas priorizam o recurso a fontes de energia renováveis, deverão ser os custos destas e as características próprias de cada edifício e família a determinar qual a preferencial.

42 Excluem-se deste cenário outras atividades ou equipamentos menos tradicionais e significativamente mais energívoros, como sejam ginásios, piscinas, entretenimento, etc. De igual forma, não se consideram quaisquer necessidades de eletricidade para carregamento de veículos elétricos.

8. Impacto Ambiental

8.1. Vetores Energéticos

A crescente incorporação de energia proveniente de fontes renováveis na produção de eletricidade tem significado, como se viu acima (cap. 3), uma redução substancial das emissões equivalentes que lhe estão associadas, podendo confirmar-se que a rede elétrica nacional tem vindo a ficar mais

'limpa'. Numa perspetiva local, isto é, de aproveitamento de renováveis na proximidade, viu-se em 7.4 que, na prática, ou se produz calor (para aquecimento ambiente ou de águas) ou se produz eletricidade (a ser usada para qualquer função específica). Esta versatilidade do vetor elétrico, acoplada às perspetivas futuras de crescente incorporação de fontes renováveis na sua produção, fazem dele uma das opções mais interessante para um E^2PA .

Por um lado, não se admitirá já o uso de quaisquer combustíveis fósseis numa nova edificação que se almeja exemplar em termos ambientais, o que exclui logo todo o gás natural. Por outro lado, as biomassas (lenhas, *pellets*, etc.), apesar de cumprirem o desígnio renovável (admitindo-se a proximidade da fonte ao local de uso, podendo-se então ignorar a incorporação dos impactos associados ao seu transporte), deverão ter, quando muito, um papel secundário uma vez que implicam processos de combustão com potencial de impactar negativamente a qualidade do ar interior e, certamente, do exterior. Assim, admite-se que as lenhas poderão ter presença e uso esporádico em lareiras e salamandras (idealmente bem vedadas e estanques), mais numa lógica de criação de uma ambiência mais psicologicamente confortável nos espaços.

De facto, só um edifício alimentado totalmente por eletricidade é que poderá vir a ter um impacto ambiental nulo associado aos usos de energia durante o seu tempo de vida, e porventura, se assim se preferir, mas não sendo estritamente necessário, vir a ser totalmente autónomo e autossuficiente. E isto, numa perspetiva de futuro, deve ser o que um E^2PA deve atingir.

8.2. Água

Já no capítulo 7.1 se referiram diversas formas de reduzir os volumes de água necessários, com particular foco nas águas quentes devido ao seu impacto energético. Além dessas reduções na utilização de água, de um ponto de vista ambiental mais holístico, um E^2PA deve poder incluir também boas práticas quer no abastecimento, quer no reaproveitamento e reutilização de águas para outros fins, antes de as vazar para os esgotos, quer ainda nas necessidades de água adicionais que possam ser desnecessárias.

Em termos de abastecimento, havendo condições e espaço, e além da comum ligação à rede pública de água e potencial existência de poço ou furo artesiano (estes merecendo alguns cuidados no seu uso que não se explorarão aqui), a prática de recolha de chuvas em grandes depósitos de

água para uso no edifício deve ser explorada. Esta prática é comum e até obrigatória em alguns países, nomeadamente na Austrália, onde várias regiões padecem de períodos de seca extrema (mas não, ainda, em Portugal). Com o percurso que as alterações climáticas parecem estar a seguir, é também expectável que os problemas de secas se tornem gradualmente mais severos nas próximas décadas, pelo que um *E²PA* deverá, por um lado, dar o seu contributo na preservação desse recurso essencial e, por outro, integrar um elemento de resiliência e autonomia que permita ultrapassar esse tipo de situações problemáticas para os residentes. Apesar de não ser ainda muito comum em Portugal, o mercado apresenta diversas soluções já prontas a instalar⁴³.

Há também uma oportunidade importante a explorar ao nível do reaproveitamento e reutilização de águas, por exemplo, procedentes de banhos, duches e lavatórios, chamadas de 'águas cinzentas'. Neste caso, essas águas contaminadas maioritariamente por sabões e detergentes, deverão naturalmente ser reutilizadas para usos menos nobres, como seja em autoclismos, sistemas de rega e/ou lavagem de pavimentos exteriores, após um breve processo de depuração e desinfecção.

De notar que em ambos os sistemas referidos anteriormente, há a necessidade de bombear e pressurizar a água, havendo, portanto, algum consumo de eletricidade, bem como de dispositivos de limpeza e desinfecção que necessitarão igualmente de eletricidade e/ou de consumíveis.

Ainda ao nível da suficiência em termos de necessidades de água, deve ser dada atenção aos jardins e vegetação envolvente à casa, adequando as suas necessidades de rega àquela que for a realidade de pluviosidade do local. Apesar de um *E²PA* dever favorecer a existência de áreas verdes, evitando a impermeabilização dos solos e a existência de amplas áreas de pavimento que podem ser prejudiciais ao conforto térmico e visual no período do verão, a vegetação usada deve ser frugal nas necessidades de água e não depender de grandes quantidades de rega. Exceção feita para possíveis hortícolas, presumidamente ocupando uma área pequena e cujos benefícios quer ambientais quer à saúde dos residentes mais que compensam as necessidades mais intensas de água. Também, sempre que possível, deve dar-se preferência a um sistema de rega mais eficaz, como por exemplo preferindo um sistema gota-a-gota em vez de um de aspersão.

⁴³ Ver, por exemplo, a oferta da companhia EcoDepur, em www.ecodepur.pt.

8.3. Materiais

Além das considerações já discutidas no capítulo 2.8 sobre o potencial impacto na qualidade do ar interior dos materiais usados na construção e nos interiores, deve também contemplar-se, tanto quanto possível e razoável, o próprio ciclo de vida desses materiais. Muitos desses materiais passam por processos de exploração extrativa danosos para o ambiente e processos de fabrico em que se utilizam quantidades enormes de energia, muita dela de origem fóssil (isto é, são materiais com bastante energia incorporada). Tradicionalmente, a construção em Portugal assenta quase inteiramente em cimento/betão, tijolo/cerâmicas e ferro, que são tudo materiais com bastante energia incorporada, mas relativamente baratos e úteis para o edifício na perspectiva da robustez e inércia térmica.

Entretanto, num *E²PA* deverá ser possível encontrar alternativas mais ambientalmente responsáveis, ainda que seja necessário em devido tempo arranjar formas de colmatar as possíveis desvantagens. Numa primeira abordagem, deve começar-se por reduzir as quantidades de materiais necessários, ou seja, por exemplo, em vez de se montar uma parede dupla com tijolos de 15 e de 11cm, talvez uma parede simples com tijolo de 15 seja suficiente. Depois há elementos estruturais que frequentemente são baseados em largos volumes de betão armado com ferro (por exemplo colunas e vigas) que podem ser substituídas por elementos só de ferro (conseguindo-se benefícios quer em energia embebida, quer favorecendo a potencial reutilização ou reciclagem desse material no fim de vida). Nas lajes, principalmente se estas, devido aos revestimentos que venham a ter, não cumprirem grande função de armazenamento térmico, deve-se também admitir a possibilidade de usar estrutura de aço leve ou até de madeiras (tradicional ou laminada)⁴⁴.

O que não deve ser admissível num *E²PA* é que este seja, por exemplo, inteiramente construído em estrutura de madeira coberta com placas de gesso cartonado, como é comum ver-se em muitos outros países. Um edifício assim construído terá quase garantidamente períodos frequentes de condições desconfortáveis no interior, principalmente devido à deficiente inércia térmica no verão. Dito isto, se se contemplarem suficientes elementos que confirmem massa térmica aos espaços interiores, então até mesmo uma construção em CLT, por exemplo, poderia ser ponderada (neste caso

⁴⁴ Assumindo-se a necessidade de encontrar soluções que não permitam contacto direto entre madeiras e o solo ou outros materiais que retenham ou transportem humidade, sob pena de estas apodrecerem rapidamente.

recomendando-se, pelo menos num primeiro projeto, a modelação dinâmica do edifício para confirmar se esses elementos conferem, de facto, a inércia necessária aos espaços).

Com particular relevância para a reabilitação dos edifícios, o reaproveitamento e reutilização de materiais, existentes já no próprio edifício ou eventualmente vindos de outros, é também um meio de reduzir substancialmente o impacto ambiental do *E²PA*, particularmente se estes forem elementos maciços e/ou estruturais.

Apesar de formalmente se poder estimar o impacto ambiental de um edifício numa perspetiva de ciclo de vida, a verdade é que esse exercício, como discutido anteriormente, dificilmente trará grande retorno face ao investimento necessário. No geral, recomenda-se então que o bom-senso alicerçado num conhecimento sólido da proveniência dos materiais, informe, em cada projeto, quais as soluções que podem cumprir os objetivos ao mesmo tempo que reduzem esse impacto ambiental dentro do razoável.

9. Implementação em Projeto

Chegados aqui, a organização do projeto tem que seguir um protocolo que vai beber naturalmente à prática corrente da construção começando pelo projeto de arquitetura, ele mesmo composto de várias fases que o *E²PA* deverá respeitar *at large* introduzindo aqui e ali os aspetos específicos que,

respeitando a sequência, poderão requerer alguma consideração mais antecipada ao longo do processo assim como avaliações/decisões intercalares.

É neste sentido que o *vade-mécum* proporá um primeiro caso-guia a ser consolidado quando do planejamento do primeiro projeto e reajustado em experiências supervenientes na lógica do desenvolvimento de uma série de protótipos que permitirão ajustar métodos e procedimentos atendendo às eventuais diferenças de pontos de partida e de objetivos. Estar-se-á, então, em condições de ter um *vade-mécum* que seja um verdadeiro manual de interface entre a conceção e execução aberto à inovação e à cooperação.

Um exemplo da aplicação do 'guia' referido acima será proposto adiante com a antecipação de soluções em comparação crítica com as prescrições regulamentares requeridos para a 'obra feita'. Tal permitirá iniciar um processo *rough* de quantificação de custos e compensações de soluções em sintonia quanto possível com o espírito e ambição *E²PA*.

A incorporação de todos os conceitos apresentados neste documento deverá acompanhar todas as etapas de desenho e construção do edifício, desde a definição do programa base até à verificação e acompanhamento após concluída a construção. Para apoio neste processo, apresenta-se a seguir uma *checklist* que chama exaustivamente, de uma forma organizada e agregada por áreas, os aspetos que devem ser considerados e que servirão de apoio à decisão ao longo de todo o processo.

Como seria de esperar, há aspetos que são absolutamente essenciais para que um *E²PA* possa atingir os objetivos a que se propõe e que se cumpram as promessas comerciais que possam estar associadas à sua venda. Assim, a *checklist* apresenta também uma avaliação, que deve ser sempre lida com alguma prudência e razoabilidade prática, tendo em conta o grau de importância de cada um dos pontos, indicando quais os essenciais (E), os altamente recomendáveis (M) e os recomendáveis (B). É importante notar ainda que, quanto possível, todos os pontos na tabela devem poder contribuir para que saia reforçado o perfil ambiental do *E²PA*.

9.1. Checklist para um Edifício de Elevado Perfil Ambiental

	E: essencial M: altamente reco- mendável B: recomendável	Importância	Capítulo/secção	Programa	Estudo prévio	(Ante) projeto	Obra / Construção	Auditoria / Acomp.
Escolha da localização/terreno/lote								
Não ser sombreado por obstáculos a Sul	E	6.2						
Próximo do local de trabalho e a serviços essenciais	B	5.5						
Não estar em solos contaminados (industriais)	B	6.1						
Não ficar em região com níveis elevados de radão	B	6.1						
Não ficar junto a vias com tráfego intenso	M	7						
Não ficar junto (a jusante dos ventos) a zonas industriais	B	7						
Acesso a rede pública de águas e saneamentos	M	9.2						
Área de terreno permite espaço envolvente livre	B	9.2						
Implantação do edifício								
Posicionar e orientar edifício corretamente	E	5.3						
Respeitar o equilíbrio volumétrico local	M	5.3						
Cuidar da estética face aos valores locais	M	5.3						
Potenciar integração com a orografia local	M	5.3						
Integrar coberturas verdes	B	5.3						
Definição e organização dos espaços								
Priorizar acesso solar aos espaços nobres (a Sul)	E	5.4						
Espaços húmidos, arrumos ou de passagem a Norte	E	5.4						
Potenciar comunicação entre o interior e exterior	M	5.4						
Garantir acesso a luz natural	M	6.2						

	E: essencial M: altamente reco- mendável B: recomendável	Importância	Capítulo/secção	Programa	Estudo prévio	(Ante) projeto	Obra / Construção	Auditoria / Acomp.
Cuidar de percursos de ventilação apropriados		M	7.2					
Isolamento térmico								
Posicionar isolamento térmico pelo exterior		E	6.1					
Adequar condutibilidade da envolvente às necessidades		E	6.1					
Garantir continuidade da camada de isolamento		E	6.1					
Resolver pontes térmicas em estruturas salientes		E	6.1					
Estender isolamento ao subsolo perimetricamente		M	6.1					
Isolar/impermeabilizar fundações e espaços enterrados		E	6.1					
Resolver potencial incursão de radão (se problemático)		E	6.1					
Proteger isolamento (a batidas, humidades, animais)		M	6.1					
Captação solar e sombreamento								
Orientar maioria dos vãos transparentes a Sul		E	6.2					
Dimensionar vãos assegurando ganhos solares úteis		E	6.2					
Considerar impacto de oclusões à radiação solar		E	6.2					
Garantir qualidade das janelas (térmica, estanqueidade)		E	6.2					
Incorporar portadas cegas isoladas termicamente		M	6.2					
Garantir estanqueidade da caixa de ar com as portadas		M	6.2					
Privilegiar posicionamento das portadas no exterior		B	6.2					
Garantir estanqueidade das formas de sombreamento		E	6.2					
Privilegiar sombreamento controlável		E	6.2					
Colocar sombreamentos pelo exterior		E	6.2					
Controlar luminosidade e privacidade (cortinas, telas)		M	6.2					

	E: essencial	M: altamente recomendável	B: recomendável	Importância	Capítulo/secção	Programa	Estudo prévio	(Ante) projeto	Obra / Construção	Auditoria / Acomp.
Considerar potencial/impacto da vegetação				M	6.2					
Usar sistema de controlo automático do sombreamento				E	8.3					
Coordenar controlo de sombreamento e portadas				M	8.3					
Iluminação artificial										
Garantir que se explora potencial da iluminação natural				E	6.2					
Projetar iluminação artificial para níveis adequados				E	6.2					
Priorizar iluminação focada aos locais de trabalho				E	6.2					
Garantir eficiência da iluminação (LED ou melhor)				E	6.2					
Permitir controlo detalhado da intensidade luminosa				M	8.3					
Usar controlo automático em corredores, arrumos, etc.				M	8.3					
Usar sensores de luminosidade (controlo intensidade)				B	8.3					
Evitar 'poluição luminosa' nos espaços exteriores				B	5.3					
Capacidade de armazenamento térmico no interior										
Garantir níveis adequados de massa térmica acessível				E	6.3					
Posicionar elementos com massa onde incida o sol				M	6.3					
Evitar cobrir elementos massivos				E	6.3					
Priorizar revestimentos de elevada condutibilidade				E	6.3					
Assegurar inércia alta onde haja mais ganhos solares				E	6.3					
Permitir baixa inércia em espaços menos nobres				M	6.3					
Priorizar área exposta vs espessura (elem. massivos)				M	6.3					
Evitar espessuras excessivas (>10 cm)				B	9.3					

	E: essencial M: altamente reco- mendável B: recomendável		Importância	Capítulo/secção	Programa	Estudo prévio	(Ante) projeto	Obra / Construção	Auditoria / Acomp.
Qualidade do ar interior e ventilação									
Assegurar controlo das potenciais fontes poluentes	E		7.1						
Ponderar impacto de fontes poluentes exteriores	E		7.1						
Usar materiais/produtos com baixas emissões poluentes	E		7.1						
Não recorrer a sistemas de combustão no interior	M		7.1						
Usar janelas de elevada estanqueidade	M		7.2						
Assegurar aberturas de entrada de ar (espaços nobres)	E		7.2						
Instalar registos de controlo nas entradas de ar	E		7.2						
Projetar adequadamente extração do ar	E		7.2						
Garantir fluxo livre entre entradas de ar e a extração	M		7.2						
Instalar sistema de controlo da ventilação	E		7.2						
Colocar sensores de CO ₂ em número/posição adequada	E		7.2						
Permitir abertura manual de janelas	E		8.3						
Controlar percursos de ventilação por zonas	M		8.3						
Potenciar controlo para <i>free-cooling</i> no verão	M		8.3						
Controlar ventilação em função de condições exteriores	B		8.3						
Utilização de água									
Usar torneiras/chuveiros de muito baixo fluxo	E		8.1						
Usar sanitários de elevada eficiência hidráulica	E		8.1						
Isolar amplamente todas as tubagens de água quente	E		8.1						
Usar torneiras termostáticas nos duches	M		8.1						
Projetar duches totalmente fechados (com extração)	M		8.1						

	E: essencial M: altamente reco- mendável B: recomendável	Importância	Capítulo/secção	Programa	Estudo prévio	(Ante) projeto	Obra / Construção	Auditoria / Acomp.
Posicionar depósito em proximidade aos pontos de uso		M	8.1					
Usar torneiras automáticas em lavatórios de serviço		B	8.1					
Usar sistema de recirculação (operação descontínua)		B	8.1					
Instalar recuperadores de calor em chuveiros		B	8.1					
Usar sistemas de aproveitamento de águas cinzentas		M	9.2					
Instalar sistema de recolha e uso de águas pluviais		M	9.2					
Preferir vegetação com poucas necessidades de rega		M	9.2					
Preferir sistemas rega gota-a-gota		B	9.2					
Sistemas de aquecimento (ambiente e água)								
Ponderar potencial contributo de solar térmico		E	8.2					
Eliminar apoio ao aquecimento por resistência elétrica		E	8.2					
Ponderar custo-eficácia de bombas de calor (ou equiv.)		E	8.2					
Agregar aquecimento ambiente e de águas num sistema		M	8.2					
Ponderar incorporação de lareiras/salamandras		M	8.2					
Não usar lareiras/salamandras abertas		E	8.2					
Assegurar estanquidade de lareiras/salamandras		E	8.2					
Usar ar exterior na combustão em lareiras/salamandras		M	8.2					
Considerar ligação a rede urbana de calor (se existir)		E	8.2					
Materiais e superfícies								
Minimizar utilização de materiais não renováveis		E	9.3					
Priorizar materiais de baixa energia incorporada		E	9.3					
Preferir materiais/soluções reutilizáveis/recicláveis		E	9.3					

	E: essencial M: altamente reco- mendável B: recomendável	Importância	Capítulo/secção	Programa	Estudo prévio	(Ante) projeto	Obra / Construção	Auditoria / Acomp.
Priorizar produtos de origem próxima	E	9.3						
Reutilizar materiais/peças	M	9.3						
Evitar uso extensivo de materiais de baixa massa	M	9.3						
Evitar revestimentos/superfícies de elevada porosidade	M	7.2						
Usar ligas de cobre ou prata onde haja contacto manual	B	7.2						
Sistemas de controlo e operação do edifício								
Mostrar informação operacional aos residentes	E	8.3						
Educar residentes quanto à operação dos sistemas	E	8.3						
Educar residentes quanto aos impactos das suas ações	E	8.3						
Permitir controlo manual de todos os sistemas	E	8.3						
Priorizar sistemas abertos e/ou não proprietários	M	8.3						
Integrar diversos controlos num único sistema	B	8.3						
Sistemas de fontes renováveis de energia								
Dimensionar adequadamente painéis solares (tér./PV)	E	8.4						
Priorizar fotovoltaico se custo-eficaz	E	8.4						
Ponderar contributo de armazenamento elétrico	E	8.4						
Integrar painéis harmoniosamente no edifício	M	8.4						

9.2. Estimativa de Desempenho e Ferramentas de Apoio ao Projeto

Diversos aspetos técnicos no desenho e dimensionamento de soluções de um E^2PA requerem o apoio de ferramentas capazes de estimar o desempenho do edifício de acordo com os princípios deste *vade-mécum*. Em fases mais adiantadas de projeto, as ferramentas computacionais (como, por exemplo, *Autodesk Revit* ou *Archicad*) poderão ser usadas para confirmar que a direção dada ao desenho cumpre aquilo que se pretendeu com a definição do programa base e do estudo prévio. Contudo, muitas das decisões que são tomadas muito cedo no processo, mesmo antes de haver qualquer esboço ou traço, podem ter um impacto determinante no resultado final. Assim, o projeto deve ir sendo acompanhado de cálculos simples, apoiados na física térmica dos edifícios e nos métodos de estimativa regulamentares, porventura providenciados por consultor especialista nessa área, com o objetivo de apoiar a equipa de projeto na implantação do edifício, na orientação e dimensionamento dos vãos transparentes, na determinação das necessidades de isolamento térmico e nos impactos térmicos relativos de diferentes soluções técnicas.

Como estes cálculos são necessariamente compatíveis com as ferramentas de cálculo do sistema nacional de certificação energética de edifícios, o tempo despendido nessas estimativas iniciais deverá poder ser aproveitado, pelo menos parcialmente, na fase de execução do projeto de especialidade da térmica.

Conforme as equipas de projeto forem tendo mais experiência e oportunidade para testar as ferramentas, deverá haver espaço para o seu desenvolvimento continuado, melhor ajustando as ferramentas às necessidades sentidas na sua aplicação prática.

Em paralelo, há um conjunto de elementos técnicos inovadores neste *vade-mécum*, como por exemplo os sistemas de controlo e respetivos algoritmos, para os quais não há ainda uma solução de mercado concreta imediatamente disponível (ou que seja do conhecimento dos autores) e que, portanto, terá que ser desenvolvida especificamente para o E^2PA , quer externamente, quer internamente em parceria com outras entidades. Este investimento inicial no desenvolvimento de soluções (ou procura de ofertas de mercado apropriadas) poderá constituir um custo adicional no(s) primeiro(s) projeto(s) mas deverá poder vir a ser reutilizado inúmeras vezes nos projetos posteriores.

10. Valores E^2PA e Harmonização com Sistemas de Avaliação

Um sistema de avaliação energético-ambiental é uma necessidade regulamentar que deverá disciplinar e, mais do que isso, inspirar o desenho e a projeção de novos edifícios, estes mesmos tomados como o que verdadeiramente são: sistemas energéticos.

Desde logo a satisfação dos valores regulamentares deve promover o progresso tecnológico e de conforto higrotérmico- e acústico enquanto deve prevenir de atentados de natureza ambiental como é, desde logo, o das alterações climáticas. Isto, dando de barato que a meta do E^2PA não é, em muitos aspetos, a meta regulamentar, primeiro porque esta estará sempre sob pressão de revisão próxima futura e, em segundo lugar, porque esta ambição é passível de ser atingida no padrão de custos correntes vs qualidade.

Por enquanto, Portugal só dispõe de legislação de 'certificação' de qualidade térmica dos edifícios iniciada em 1991, nessa altura na atitude prudente de valorizar a suficiência energética – mesmo sem que se conhecesse que tal designação fosse ou pudesse ser aplicada à energia. A versão atual, em contínua revisão e revista mais substancialmente na última década, fruto da incorporação obrigatória da diretiva europeia (EPBD), determina um processo de cálculo de valores nominais de necessidades de aquecimento e arrefecimento ambiente, aquecimento de águas e contribuição de fontes renováveis de proximidade, para chegar a uma classe energética que deveria refletir a qualidade do edifício ao nível do seu desempenho energético.

Apesar de robusto, numa perspetiva técnica, o sistema de cálculo regulamentar tem uma capacidade limitada para capturar todas as nuances que determinam o desempenho energético de um edifício e, estando influenciada pela visão do domínio dos 'equipamentos' sobre a lógica do desempenho do edifício como sistema energético, a utilização real tende a revelar-se significativamente diferente do que sugeririam os resultados dos cálculos. Aliás, deve ter-se em consideração que o objetivo desses cálculos não é oferecer uma estimativa real das necessidades de energia, mas sim estabelecer um sistema de comparação, baseado em condições nominais de utilização, porventura pouco representativas da real utilização do edifício. Mas também nunca seria espetável que uma ferramenta de aplicação tão abrangente quanto a que se exige a um regulamento nacional pudesse alguma vez conseguir atingir esse objetivo. De facto, mesmo as ferramentas de cálculo mais precisas de simulação dinâmica de edifícios, dificilmente oferecem resultados próximos da utilização real, exceto se forem calibrados para um edifício e conjunto de utilizadores específicos. Assim, é preciso reconhecer que as estimativas e cálculos de desempenho dos edifícios, ou de equipamentos em edifícios, não devem ser sobrevalorizadas e reconhecer as suas limitações face à diversidade natural da vivência humana. Elas permitem atingir um determinado patamar de qualidade que deve seguramente ser explorado, mas devem ser parte de uma abordagem que num E^2PA deverá integrar a educação e acompanhamento dos seus futuros residentes,

assim assegurando que os esforços encetados ao nível do projeto e construção do edifício não se desperdiçam com comportamentos desadequados e utilização errada ou errática do edifício.

A nível nacional e internacional há, adicionalmente, uma diversidade de sistemas de certificação ambiental, voluntários, dos quais fazem parte os sistemas LiderA, LEED e BREEAM. Apesar de bem-intencionados e de cumprirem pelo menos o propósito de serem razoavelmente exaustivos na definição de aspetos e parâmetros que podem influenciar o impacto ambiental dos edifícios, há múltiplas experiências de fraca correlação entre os resultados destas certificações e os impactos reais dos edifícios. Na realidade, um bom resultado num destes sistemas não é garantia de que o edifício tenha um bom desempenho energético, seja saudável ou seja confortável. Uma das críticas mais comuns, e causa provável deste comportamento, reside na metodologia que estes sistemas usam, que geralmente integra uma multitude de variáveis e parâmetros quantitativos e qualitativos de natureza muito diversa e não necessariamente consistente num único valor numérico ou numa classe. Cria-se então espaço para que parâmetros menores possam compensar deficiências noutros mais relevantes, para desprezar as circunstâncias locais e para olvidar, na inflexibilidade das estruturas de avaliação, o comportamento dos residentes.

Os princípios e metodologia descritos neste *vade-mécum* não são, de todo, incompatíveis com esses sistemas de avaliação e deverão, mesmo sem terem sido concebidos com esse intuito, resultar em boas avaliações. Deverá caber a cada promotor ou vendedor de um E^2PA o equacionar se o custo adicional associado à sua certificação nas diversas perspetivas além das legais pode trazer alguma mais-valia adicional no mercado.

10.1. Integração com Discurso Comercial

A médio/longo prazo, acreditamos que a marca E^2PA deverá ganhar reconhecimento no mercado, não porque trazem mais um papel ou um certificado que os compradores não entendem e cujos resultados nada garantem, mas sim porque a ocupação e operação concreta desses edifícios demonstra, sem sombra de dúvidas, que os objetivos do programa se observam em toda a extensão esperada, isto é, podem ser garantidos *ab initio*. Os E^2PA serão então reconhecidos, não pela sua classe energética (que naturalmente deverá atingir facilmente o patamar A+), nem pela certificação LiderA ou LEED ou BREEAM, mas sim como edifícios que garantem espaços de

excelente conforto (conseguindo-o com soluções maioritariamente passivas), de qualidade do ar e salubridade exemplar, e com custos operacionais e impactos ambientais muito baixos. Os E^2PA são edifícios para um público sensato e informado, que não se deixa levar por colofões vazios e que percebe que frequentemente é nas soluções mais simples, mas mais eficazes, que jaz o particular valor-acrescentado de um edifício *Homing*.

11. Referências e Documentação

ADENE (2016) *10 Soluções de Eficiência Energética*. Available at: <https://www.sce.pt/10-solucoes-de-eficiencia-energetica/>.

ANSI/ASHRAE Standard 55 (2013) *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.

de Oliveira Fernandes, E. et al. (2018) 'Built Environments and Health'

Carrer, P. et al. (2018) 'On the Development of Health-Based Ventilation Guidelines: Principles, Approach and Proposed Framework', *Submitted*.

de Oliveira Fernandes, E. (1980) 'ENERGY AND HOUSING IN PORTUGAL(1978) Moncorvo survey', in *Proceedings of 1st International Congress on Building Energy Management*.

de Oliveira Fernandes, E. et al. (2008) 'ENVIE – EU co-ordination action on indoor air quality and health effects', in *Indoor Air 2008*. Available at: <https://www.isiaq.org/docs/papers/685.pdf>.

de Oliveira Fernandes, E. (2016) 'The Built Environment and Its Policies', in *Energy Performance of Buildings*. Cham: Springer International Publishing, pp. 1–15. doi: 10.1007/978-3-319-20831-2_1.

de Oliveira Fernandes, E., Maldonado, E. A. B. and Gonçalves, H. J. P. (1987) 'Casa Termicamente Optimizada', *Batiment International, Building Research and Practice*. Taylor & Francis Group, 15(1–6), pp. 215–219. doi: 10.1080/09613218708726819.

Parlamento Europeu e do Conselho (2010) 'Diretiva 2010/31/UE - Energy Performance of Buildings Directive'.

Parlamento Europeu e do Conselho (2012) 'Diretiva 2012/27/UE - Energy Efficiency Directive'.

Santos, H., Valença, P. and Fernandes, E. O. (2017) 'UNESCO's Historic Centre of Porto: Rehabilitation and Sustainability', in *Energy Procedia*. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.375.

Vitruvius, M. (no date) 'De Architectura Libri Decem'. circa I A.C.

World Health Organization (2005) *Air quality guidelines - global update 2005*. World Health Organization. Available at: <http://www.who.int/airpollution/publications/aqg2005/en/> (Accessed: 8 January 2018).

World Health Organization (2010) *WHO guidelines for indoor air quality : selected pollutants*. WHO.

Zeeb, H., Shannoun, F. and World Health Organization. (2009) *WHO handbook on indoor radon: a public health perspective*. World Health Organization.



Eduardo de Oliveira Fernandes

Doutorado na EPFL (Lausanne, Suíça) em 1973, tem 50 anos de ensino, investigação e atividades de extensão universitária em áreas da engenharia relacionadas com a energia e o ambiente predominantemente aplicada à Física Térmica nos Edifícios e à Qualidade do Ar Interior.

Professor Emérito da Universidade do Porto, onde integrou o Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia, tendo assumido o cargo de Vice-Reitor. Foi Vice-presidente da PLEA (Passive and Low Energy Architecture), Presidente da ISES (International Solar Energy Society), Secretário de Estado do Ambiente (1984-5) e da Energia (2001-2). É membro, desde 1981 e *Fellow* desde 1997, da ASHRAE (Associação Americana do Ar Condicionado).



Hugo Santos

Doutorado em Química Computacional na Universidade do Porto, em 2009, foi investigador em diversos projetos internacionais e financiados pela Comissão Europeia enquanto pós-doutorado no IDMEC/FEUP. Foi consultor na Oakland Innovation (Cambridge, Reino Unido). Atualmente em Londres, aplica a experiência de mais de uma década nas áreas da energia e saúde no ambiente construído naquelas que podem ser melhores traduções em desenho e projeto de arquitetura.

Nos 35 anos passados desde a publicação do célebre e fundamental “Relatório Brundtland”, pelas Nações Unidas, só foi tornada mais evidente e clara a necessidade de ação definitiva, contundente e urgente, no combate aos impactos nefastos da atividade Humana no ambiente *lato sensu*. E de entre essas atividades danosas, a energia usada nos, e para, os nossos ambientes construídos, é responsável, sem dúvida, direta e indiretamente, por uma das maiores parcelas. Enquanto o apelo à ação se vai ouvindo ao nível global, a ação concreta, política e executiva, tem de se fazer, a começar com o respeito e a sensibilidade pelos valores e realidades vernaculares, culturais e económicas, que o sítio exige por si e pela sua quota-parte para o todo do Planeta.

É neste contexto que se justifica a oportuna necessidade deste livro, que se apresenta como uma compilação e reflexão sobre o conhecimento e experiência adquirida pelos autores, ao longo de mais de 40 anos de investigação e consultoria na articulação harmoniosa dos problemas nas áreas da energia, saúde e sustentabilidade associadas à gestão do ambiente construído português. Isto é, não deixando nenhum responsável de fora desta missão que parte da realidade da fragilidade, tantas vezes sublinhada, do ambiente em geral e do Planeta em si mesmo, que requer a solidariedade de todos.

E aqui, há que combater as tentações “gadgéticas” a todos os níveis e procurar assumir a bondade das ações a empreender no sentido de satisfazer as necessidades de hoje sem descuidar a salvaguarda do futuro. Ora, isto requer um rigor que não se vê na linguagem política e, infelizmente, também não na ação dos profissionais das problemáticas energéticas, ambientais e da saúde e, *latu sensu*, da política, como da informação e da comunicação em geral. A cacofonia das terminologias sobre a energia dá disso uma imagem confrangedora ao chamar à eletricidade “a energia”, quando aquela é apenas uma forma de energia, “simpática” é certo, mas uma forma de energia entre muitas. Por isso, Semanários e TVs de elevadas audiências deveriam ser mais cautelosos e respeitosos do tema, mesmos que isso não lhes pague mais.

Tentando não cair em modas ou tendências e analisando a situação *ab initio*, os autores apresentam e discutem os princípios científicos base, comentam e questionam a realidade recente do desenvolvimento urbano e da construção em Portugal, invocando o vernacular e o atual, e sugerem abordagens e perspectivas que ajudarão, de forma consciente e eficaz, a transformar os espaços urbanos e os edifícios para um futuro inclusivo e amplamente respeitador dos valores sociais, económicos e ambientais da nossa realidade portuguesa e da nossa responsabilidade global.

Na Coleção de *Ensaios para a Sustentabilidade* da Fundação Mestre Casais, os temas a tratar e os autores são seleccionados de forma a representarem as dimensões ambiental, climática, social, humana e económica da sustentabilidade, no respeito pelos valores do conhecimento, da independência, da transparência, do humanismo e do diálogo, consagrados nos Estatutos da Fundação.



Fundação
Mestre
Casais



UMinho Editora



Universidade do Minho

ISBN 978-989-8974-70-9



9 789898 974709 >