

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

**Estudo térmico de um edifício escolar
com topologia complexa**

Pedro Miguel Henriques Abrantes

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Área de especialização em Energias Renováveis

Faro
Maio, 2011

Índice

Agradecimento	ii
Resumo	4
Abstract	5
Acrónimos e Abreviaturas	6
1. Objectivo	7
2. Estado Actual do Conhecimento	8
2.1. Qualidade do Ar e Poluição Atmosférica	8
2.2. Ventilação de Espaços Interiores	8
2.3. Exposição Solar do Edifício	10
2.4. Conforto Térmico em Espaços Interiores	11
2.5. Certificação Energética de Edifícios	13
2.6. RSECE e RCCTE	14
2.7. Simulação Numérica em Espaços Interiores	14
3. Enquadramento do Trabalho	16
3.1. Enquadramento Geral do Trabalho	16
3.2. Estudo de Caso	17
3.2.1 Localização do Caso de Estudo	17
3.2.2. Caracterização do Caso de Estudo	19
4. Projecto	24
4.1. Dados de Entrada do Modelo	24
4.2. Descrição Detalhada do Caso de Estudo	25
5. Discussão dos Resultados	30
6. Conclusão	39
Referências Bibliográficas	41
Anexos I a X	46

Agradecimento

À Universidade do Algarve por ter cedido as Plantas do edifício da Faculdade de Economia e de Ciências e Tecnologia.

Ao meu Pai, Mãe e Irmão por terem estado sempre ao meu lado.

À Eng.^a Margarida Lopes por se ter prontificado a esclarecer-me sempre que foi necessário.

À Eng.^a Ana Raquel Teixeira pelo apoio transmitido.

À Eng.^a Adriana Silva pelo seu contributo académico nesta área específica.

À Eng.^a Marta Pragana pelo esforço e dedicação com que me ajudou.

Ao Eng.^o Jorge Mateus pelo apoio que me deu.

Ao Eng.^o Luís Costa por me ter tirado algumas dúvidas e pelo apoio prestado.

Ao Prof. Eusébio da Conceição pela orientação.

Resumo

Neste trabalho pretende-se efectuar uma avaliação numérica, recorrendo ao *Multi-node Building Thermal Behavior* (MNBTB), das condições de conforto térmico e temperatura num edifício de tipologia complexa.

Trata-se do edifício da Faculdade de Economia (FE) e da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), antiga Faculdade de Engenharia e Recursos Naturais (FERN) na Universidade do Algarve (UAlg) no *Campus* de Gambelas. Um edifício que se encontra na plenitude das suas funções. Pretende-se com este trabalho efectuar uma avaliação das condições de conforto térmico e da temperatura do ar interior, tanto para as condições de Inverno, como de Verão. Após a simulação, de acordo com os resultados numéricos obtidos, procede-se à sua análise de modo a identificar debilidades e carências.

Uma das conclusões a que se chega é a importância do sombreamento a Sul do complexo recorrendo a estruturas externas e envolventes, ao qual se verificou que o modelo numérico simula com aproximações muito boas o comportamento da evolução da temperatura nos compartimentos. As estruturas externas que se propõe são árvores de grande porte a Sul do estabelecimento, de modo a proteger/resguardar os espaços mais problemáticos.

Em trabalhos futuros dever-se-á ter em conta a ocupação de cada divisão de maneira aferir necessidades de ventilação para melhoria da QAI, bem como efectuar novas simulações considerando as lamelas existentes.

Abstract

This work is intended to make an assessment using a numerical system of equations using Numerical Method Multi-node Building Thermal Behavior (MNBTB), to realize the conditions for thermal comfort of a building complex typology.

This is the building of the Faculty of Economics (FE) and Faculty of Science and Technology (FCT), former Faculty of Engineering and Natural Resources (FERN) in University of Algarve (UAlg) Gambelas Campus, a building that is in the fullness of their duties. The aim of this work was an assessment of lack of thermal comfort and variation of air temperature, both for winter conditions as summer, the end to achieve a significant improvement indices of interior comfort of FE and FCT through the proposal of the solutions needed for this purpose, allowing an enhancement of the building and improving the comfort and grades of its occupants. The work in the building of the FE and FCT will continue until it's possible to recognize the shortcomings of thermal response.

One of the conclusions that was found is the importance of South shading of the complex using external structures and existing formations, that was verified the numerical model simulates very accurate the evolution behavior of the temperature on the compartments. The external structures proposed are big set trees on the South of the establishment, in order to protect the most problematic areas.

In future work it should be taken into account the occupation of each division in order to assess ventilation needs improving "QAI", as well making new simulations taking in account the existing lamellae.

Acrónimos e Abreviaturas

ACCA	– <i>Air Conditioning Contractors of America</i>
AMCA	– <i>Air Movement and Control Association</i>
APA	– Agência Portuguesa do Ambiente
AREAL	– Agência Regional de Energia e Ambiente do Algarve
ASHRAE	– <i>American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers</i>
AVC	– Acidente Vascular Cerebral
CAD	– <i>Computational Assisted Design</i> , desenho assistido por computador
CFD	– <i>Computational Fluid Dynamics</i> , Fluidos Dinâmicos Computacionais
DL	– Decreto-Lei
FCMA	– Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente
FCT	– Faculdade de Ciências de Tecnologia
FE	– Faculdade de Economia da Universidade do Algarve
FERN	– Faculdade de Engenharia e Recursos Naturais
HACR	– <i>Heating, Air Conditioning and Refrigeration</i>
HVAC	– <i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
HVACR	– <i>Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration</i>
IMC	– <i>International Mechanical Code</i>
LDA	– Limitada
MNBTB	– Sistema de equações utilizando o Método Numérico <i>Multi-node Building Thermal Behavior</i>
PMV	– <i>Predicted Mean Vote</i> - previsão do valor médio da susceptibilidade térmica de um grupo de pessoas numa escala de 7 valores - Votação Média Previsível
PPD	– <i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> - previsão da percentagem de pessoas, de entre um grupo, passíveis de se sentirem termicamente desconfortáveis - percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas
PVC	– Policloreto de Vinilo
QAE	– Qualidade do Ar Exterior
QAI	– Qualidade do Ar Interior
RCCTE	– Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	– Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SMACNA	– <i>Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association</i>
Tar	– Temperatura do Ar
UALG	– Universidade do Algarve
UMC	– <i>Uniform Mechanical Code</i>
URL	– <i>Uniform Resource Locator</i> - Localizador de Recursos Universal

1. Objectivo

Este trabalho, tendo como base os dados obtidos a partir do *software* MNBTB e toda a informação que se pôde recolher sobre o edifício, tem como principais objectivos:

- ser uma mais valia científica e contribuir para o desenvolvimento da simulação numérica de edifícios de tipologia complexa;
- mostrar a importância da radiação solar directa na ineficiência energética.

2. Estado Actual do Conhecimento

Nesta secção do trabalho será feita uma revisão do estado actual do conhecimento, também conhecido como estado da arte e da forma como a investigação e os resultados que se têm obtido, nas várias áreas do conhecimento que serão abordadas no decorrer do trabalho, contribuem na determinação da necessidade desta realização mas também na sua concretização, adequação e enquadramento científico.

Trata-se de um trabalho inserido no Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, mais propriamente no 2º ciclo de estudos, no ramo de Energias Renováveis. Terá como uma das suas linhas orientadoras a problemática do conforto térmico sempre pensando no desenvolvimento sustentável, tendo em conta o excessivo consumo de energia eléctrica, servindo de contributo para que se alterem hábitos visando minorar as alterações climáticas.

2.1. Qualidade do Ar e Poluição Atmosférica

A poluição atmosférica está associada a grandes aumentos nas despesas médicas, mortes e estima-se que cause cerca de 800.000 mortes anuais prematuras a nível mundial (Cohen *et al*, 2005 *in* Curtis *et al*, 2006).

Determinado grupo de pacientes como os asmáticos, pessoas com enfisemas e bronquites, vítimas de ataques cardíacos e AVC's, diabetes, grávidas, idosos e crianças a nível de saúde são especialmente sensíveis ao ar contaminado do exterior (American Lung Association 2005, *in* Curtis *et al*, 2006).

Segundo a pesquisa de Jedrychowski *et al*, (2001) o objectivo era estudar o impacto da qualidade do ar interior e exterior na taxa de crescimento de crianças pré-adolescentes depois de medir as alturas dos respectivos pais e potenciais aspectos que interfiram nos resultados finais, concluindo que a poluição do ar afecta negativamente a altura das crianças, ou seja, crianças expostas a contaminantes do ar não crescem tanto como as que não foram expostas.

A qualidade do ar exterior (QAE) e interior é bastante importante para a saúde humana. Um típico adulto com 70 kg inspira cerca de 20 m³ de ar por dia (Berne *et al*, 1998 *in* Curtis *et al*, 2006).

2.2. Ventilação de Espaços Interiores

O design sustentável de um edifício deverá ter em conta o futuro estado do ambiente e para obter uma maior eficiência a nível de consumo energético torna-se necessário a aplicação de quatro princípios básicos, nomeadamente, controlar os ganhos térmicos internos através do sombreamento (Lopes, 2008); usar a massa térmica do edifício distribuindo os ganhos de energia pelas várias divisões ou compartimentos de modo a reduzir o pico de temperatura; usar uma estratégia bem definida de arrefecimento

(Conceição *et al*, 2007), por exemplo usando a frescura da noite para arrefecer o edifício; apenas fazer uso do ar condicionado se estritamente necessário, por exemplo traves ou telhados arrefecidos conseguem limitar os picos de temperaturas, tornando o processo eficiente e sustentável (Olesen, 2002). Prevê-se que edifícios com maiores volumes de ar (que possuem uma maior massa) são mais susceptíveis de apresentar uma melhor qualidade térmica no seu interior, mas tendo sempre em atenção os princípios de sustentabilidade e eficiência energéticas (Holmes *et al*, 2007).

A norma *American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers* ASHRAE (2004) define um limite para a concentração do dióxido de carbono em ambientes interiores de 1800 mg/m³ e um caudal de renovação do ar por ocupante e pelo tipo de espaço. Para edifícios escolares esta norma recomenda valores compreendidos entre 3.8 l/s e 5 l/s (unicamente renovação) e entre 4 l/s e 9.5 l/s (renovação e recirculação) por pessoa (*in* Conceição *et al*, 2008b).

O Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril 2006, define um caudal de renovação do ar para ambientes escolares de 35 m³/h por ocupante. Esta norma recomenda igualmente um limite para a concentração do dióxido de carbono em ambientes interiores de 1800 mg/m³ (*in* Conceição *et al*, 2008b).

A ventilação natural integrada com a capacidade térmica é um sistema passivo de arrefecimento que poderá ser usado para ajustar a temperatura do ar interior de modo a assegurar o conforto térmico e manter uma qualidade do ar interior (QAI) aceitável (Geros *et al*, 1999; Jeong *et al*, 2003; La Roche *et al*, 2004; Samuel *et al*, 2006; Zhou *et al*, 2008; Lopes, 2008).

Existe um caso de estudo de uma Escola com ventilação natural, situada no Reino Unido, possuindo as seguintes características: edifício de construção recente; elevado nível de insolação; ventilação natural através de grelhas; materiais expostos à luz directa; telhado leve e bem isolado; temperaturas diminuem de noite. Assumindo que quando a temperatura exterior é inferior a 12°C se fecham as grelhas, quando as salas de aulas estão desocupadas ou com temperaturas superiores a certos valores procede-se à sua ventilação. Este estudo foi levado a cabo abrangendo os típicos meses de verão desde Maio até Setembro inclusive. O resultado final foi que o piso de baixo (rés-do-chão) facilmente cumpria os valores de conforto e qualidade do ar, mas que o piso superior não, como é comum em edifícios naturalmente ventilados. Este facto deveu-se ao facto do telhado ter uma pequena capacidade térmica (Holmes *et al*, 2009).

A investigação de Jeong *et al* (2003) levada a cabo pela Universidade da Pensilvânia teve como objectivo estimar o impacto da convecção mista na capacidade de arrefecimento numa placa radiante num telhado em espaços com ventilação mecânica.

A indústria do aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC) tem sido historicamente regulamentada por empresas de investigação na área de equipamento HVAC, mas os regulamentos das companhias têm sido estabelecidos por entidades como a ASHRAE, SMACNA, ACCA, Uniform Mechanical Code, International

Mechanical Code e a AMCA, que têm criado o suporte e encorajamento para se atingir altos níveis de standard e desempenho.

2.3. Exposição Solar do edifício

Para se poder prever com alguma exactidão o que poderá acontecer no Verão e no Inverno nas diferentes fachadas do edifício é importante que se possam adoptar soluções e alterações tanto externas como internas que permitam proporcionar condições de conforto aos ocupantes (Pragana *et al*, 2007).

No Inverno normalmente é necessário proceder-se ao dispêndio de energia para aquecer os edifícios. O percurso do Sol, durante o período da manhã e princípio da tarde, perto da perpendicular aos envidraçados verticais de uma fachada Sul, possibilita uma maior entrada de radiação para o edifício. Por sua vez, uma fachada orientada a Nascente recebe pouca radiação, uma vez que o Sol nasce próximo da orientação Sudeste, incidindo na fachada durante poucas horas do período da manhã e com um pequeno ângulo de incidência (Gonçalves *et al*, 2004 *in* Pragana *et al*, 2007).

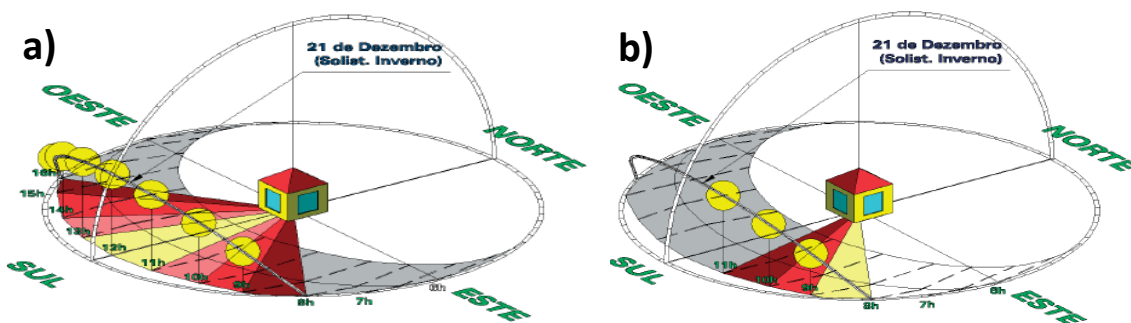


Figura 1: Esquema da radiação solar durante o Inverno. **a)** Incidência solar na fachada voltada a Sul. **b)** Incidência solar na fachada orientada a nascente (Este) (Gonçalves *et al*, 2004 *in* Pragana *et al*, 2007).

Por outro lado, nos meses de Verão torna-se necessário minimizar os ganhos solares de radiação, ou seja reduzir a entrada directa de Sol no interior do edifício. A incidência da radiação solar em envidraçados verticais orientados a Sul, faz-se com grandes ângulos, o que reduz os ganhos solares. A existência de uma pala de reduzidas dimensões pode atenuar a incidência de radiação directa, tanto como persianas ou cortinas. Numa fachada orientada a Nascente, a incidência dos raios solares ocorre durante longas horas da manhã (inicia-se com o nascer do Sol, ocorre próximo da orientação Nordeste, e termina ao meio dia) e exerce-se segundo ângulos próximos da perpendicular aos envidraçados verticais, factor que promove um maior captação de energia solar que, nesta estação é indesejável (Gonçalves *et al*, 2004 *in* Pragana *et al*, 2007).

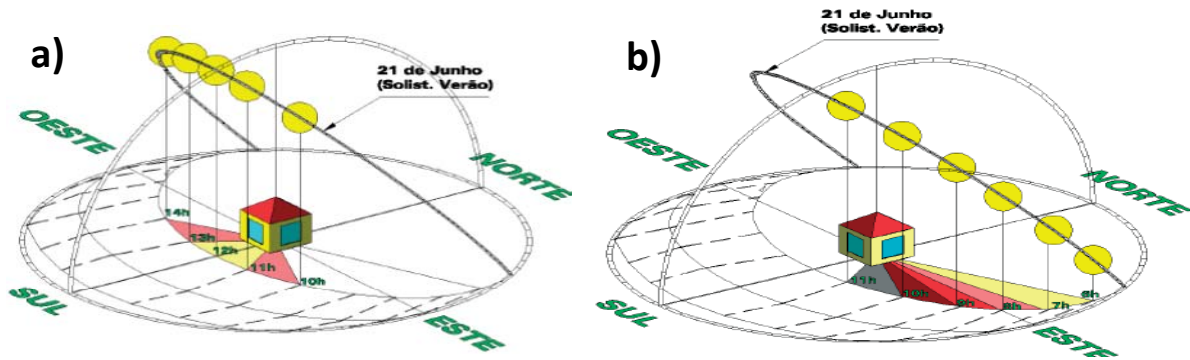


Figura 2: Esquema da radiação solar durante o Verão. **a)** Incidência solar na fachada voltada a Sul. **b)** Incidência solar na fachada orientada a nascente (Este) (Gonçalves *et al*, 2004 in Pragana *et al*, 2007).

A Poente, a situação é semelhante relativamente à altura solar para a estação de Inverno e de Verão. Contudo, uma fachada orientada a Poente apenas recebe radiação solar durante o período da tarde. A diferença assenta principalmente na duração da incidência da radiação solar, sendo que no Inverno como o Sol se põe próximo da orientação Sudoeste a radiação incide na fachada durante poucas horas, enquanto no Verão como o Sol se põe próximo da orientação Noroeste, a radiação incide durante longas horas do período da tarde (Pragana *et al*, 2007).

Tanto a fachada Este como a Oeste é responsável por grandes cargas térmicas no edifício, pelo que se deverá ter atenção à área, tipo de vidros e sombreamento. A fachada Norte é a menos problemática num edifício uma vez que no Inverno não recebe nenhuma radiação directa e no Verão recebe uma pequena fracção de radiação directa no princípio da manhã e no fim da tarde (Pragana *et al*, 2007).

2.4. Conforto Térmico em Espaços Interiores

As questões de conforto e qualidade do ar que permitiram melhores condições laborais em edifícios ganharam muito mais importância com a Directiva da Performance Energética de Edifícios de 2001 (Wagner *et al*, 2003).

O uso da capacidade térmica num edifício pode reduzir o pico de calor ou a carga de arrefecimento e subsequentemente o consumo de energia (Olesen, 2002), em particular quando é integrado com a ventilação nocturna. A capacidade térmica é definida como a capacidade de absorção, armazenamento e libertação de calor que os materiais possuem, ou seja, armazena calor durante um período em que ocorrem temperaturas mais elevadas, libertando-o mais tarde na ocorrência dum período mais fresco no decorrer do dia (Geros *et al*, 1999; ASHRAE 1999, in Yang *et al*, 2008; Yam *et al*, 2003; Zhou *et al*, 2008). O que inclui a estrutura do edifício, mobiliário, paredes internas, entre outros como referiu também Conceição *et al* (2003). Um dos parâmetros que nos dá a performance térmica de um edifício é a sua capacidade de armazenamento térmico (Conceição *et al*, 2006b).

Na Universidade de Hong Kong, no departamento de Engenharia Mecânica tentou-se perceber a relação da capacidade térmica com o consumo de energia do ar condicionado em edifícios de escritórios. Para tal usou-se um modelo simples de um edifício de escritórios recorrendo ao ar condicionado durante o dia e arrefecimento natural durante a noite, analisando em detalhe a variação total do arrefecimento do ar condicionado. Um parâmetro importante foi a constante tempo, visto o seu aumento diminuir efectivamente a carga de arrefecimento, até 60% para um tempo superior a 400 horas. Mas quando essa constante é superior a 1000 horas, um incremento pode aumentar ligeiramente essa carga de arrefecimento, como também uma constante tempo muito elevada pode provocar um atraso na libertação de calor da capacidade térmica até ao início do dia. Concluindo que para uma maior redução da carga de arrefecimento terão de se acertar os valores de transferência convectiva de calor (Yang *et al*, 2008).

TRY Essen hourly values of outdoor climate trata-se duma função da velocidade e direcção do vento, da quantidade de precipitação e do fluxo de ar que circula em torno do edifício. Significa que os valores horários da temperatura exterior, da humidade relativa, do balanço de radiação de comprimento de onda curto tanto directo como difuso, do balanço da radiação de um longo comprimento de onda e finalmente da chuva, são usados como condições de fronteira (Wisse 1994, *in* Häupl *et al*, 1997).

Foi desenvolvido um trabalho de investigação baseado nas leis da energia, massa e momento linear, bem como, na lei da entropia, uma conjugação parcial não linear dum sistema de equações diferenciais para a transferência de calor, ar e humidade no escoamento em materiais porosos, e para melhor dimensionalizar esta questão, um algoritmo incluído no *software* de simulação especialmente desenvolvido. A sua eficiência é demonstrada pela recente construção da estrutura dum edifício, constituída por betão envolvida em placas de poliestireno expandido como isolamento, nas condições de fronteira do "*TRY Essen hourly values of outdoor climate*". Como resultado da elevada humidade nesta construção, começaram a aparecer manchas de bolor na zona inferior da parede junto à laje no lado exterior do edifício, não obstante, nos primeiros anos elevadas perdas de calor causadas pela humidade que manipula a condutividade térmica e a entalpia adicional que acompanha o movimento da humidade e mudança de fase (Häupl *et al*, 1997).

Wagner *et al* (2003), num estudo sobre conforto térmico, envolveu um total de 50 indivíduos num escritório naturalmente ventilado em Kalsruhe na Alemanha, que durou quatro semanas durante o verão. Demonstrando que as sensações térmicas sentidas pelos indivíduos testados não correspondiam aos resultados dos cálculos obtidos, não obstante podendo-se obter uma excelente aproximação quando comparados com modelos adaptáveis de conforto. Dessa forma a dependência entre conforto térmico e a temperatura exterior em edifícios ventilados naturalmente pôde ser confirmada. Foi também feito um inquérito de satisfação a trabalhadores de 16 escritórios no mesmo país, que revelou que o facto de ser o próprio indivíduo a controlar a temperatura a que trabalhava tinha uma forte influência na sua satisfação no que respeita às condições térmicas em espaços interiores.

2.5. Certificação Energética de Edifícios

Segundo a AREAL - Agência Regional de Energia e Ambiente do Algarve a “...partir do ano de 2009 todos os edifícios estão obrigados por lei a apresentarem uma classificação energética por classes de eficiência. Neste sentido, quer se trate de construção, remodelação, compra, venda, arrendamento ou outra transacção imobiliária, o Certificado Energético é imprescindível para o processo. Ao abrigo do Dec. Lei 78/2006, Portugal é um dos primeiros países a transpor a directiva nº 2002/91/CE de Desempenho Energético dos Edifícios. Este Decreto-Lei regula a implementação de um sistema de certificação energética e qualidade do ar interior nos edifícios, com o objectivo de aumentar a eficiência energética dos mesmos. Daí resulta a etiqueta energética que classifica as fracções residenciais ou de serviços, numa escala de eficiência que varia de A+ (alta eficiência energética) a G (baixa eficiência), e será similar à existente para outros equipamentos, o que permitirá uma fácil leitura por parte do consumidor. A partir de 2009 o consumidor fica a saber quais as necessidades energéticas da sua habitação ou espaço de serviços, sendo que a classe A será mais eficiente energeticamente do que a classe G.”

Este trabalho poderá contribuir positivamente para esta certificação, visto ficar-se a conhecer melhor (através da simulação numérica) todo o edifício e as principais carências e pontos a melhorar. As propostas de melhoria efectuadas para estas faculdades melhorarão o desempenho térmico daquelas instalações, permitindo a um preço reduzido uma melhor pontuação na certificação energética, o que valoriza todo o edifício (vale mais no mercado imobiliário) e o ambiente agradece.

“Para além dos benefícios ambientais provenientes da utilização do solar térmico (colectores solares para aquecimento de águas) deste tipo de sistemas, o comprador terá benefícios fiscais, bem como uma comparticipação do estado, se assim o entender, refere a AREAL.” O solar térmico não é a solução por si só mas é com certeza uma ajuda aquando da certificação do edifício.

Existe bastante legislação actualizada relacionada com a certificação energética, alterações climáticas e a nível ambiental, tanto directa como indirectamente relacionadas com este projecto, como a Portaria n.º 134/2009; Decreto-Lei n.º 230/2005; Decreto-Lei n.º 71/2006; Decreto-Lei n.º 71/2006; Decreto-Lei n.º 67/2007; Decreto-Lei n.º 108/2007; as Resoluções do Conselho de Ministros n.º 161/2005, n.º 33/2006 e n.º 104/2006; bem como a Resolução da Assembleia da República n.º 10/2007.

2.6. RSECE e RCCTE

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio e veio substituir o Decreto-Lei n.º 156/92, de 29 de Julho, que não chegou a ser aplicado e que visava regulamentar a instalação de sistemas de climatização em edifícios. Nesta sua reformulação, o RSECE impõe, entretanto, mecanismos mais efectivos de comprovação desta conformidade regulamentar e aumenta as penalizações, sob a forma pecuniária e em termos profissionais, para os casos de incumprimento. Aumenta também o grau de exigência de formação profissional dos técnicos que possam vir a ser responsáveis pela verificação dos requisitos do Regulamento, de forma a aumentar o nível da sua competência e a conferir mais credibilidade e probabilidade de sucesso à satisfação dos objectivos pretendidos. Para além desta intervenção no licenciamento, o RSECE impõe também mecanismos de auditoria periódica dos edifícios (Pragana *et al*, 2007).

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão. Entretanto, este primeiro RCCTE pretendia limitar potenciais consumos sendo, portanto, relativamente pouco exigente nos seus objectivos concretos relativamente às questões de viabilidade económica face a potenciais consumos baixos. Actualmente, justifica-se uma contabilização mais realista de consumos, que com muito maior probabilidade possam ocorrer, evoluindo portanto na direcção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Esta nova versão assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios devem ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno, quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais, existência e uso. Nesta sua reformulação, o RCCTE impõe mecanismos mais efectivos de comprovação de toda a conformidade regulamentar. Impõe-se que o regulamento seja actualizado nos actuais contextos social, económico e energético, promovendo um novo acréscimo de qualidade térmica dos edifícios num futuro próximo (Pragana *et al*, 2007).

2.7. Simulação Numérica em Espaços Interiores

Nos estudos térmicos de edifícios ou construções que sejam ou irão ser ocupadas por pessoas é bastante importante que se tenha uma boa ideia de qual irá ser o seu desempenho ou eficiência térmica, de preferência antes da construção, quando ainda se encontra em fase de projecto, porque dessa forma podem-se articular todo um conjunto de sistemas que permitirão um conforto térmico (como também explica Conceição *et al*, 2006b) e qualidade do ar superiores possivelmente em todas as divisões desse edifício, com um consumo de energia bastante baixo. Em estudos de investigação deste cariz os *softwares* de simulação numérica são vitais quando o

nosso objectivo é prever como se comportará termicamente e como afectará os seus ocupantes.

Estes softwares baseados em fenómenos térmicos e mássicos, devem ser sujeitos a diferentes tipos de testes de validação, quer em condições de Verão e de Inverno, quer para diferentes tipos de topologias dos edifícios. É também muito importante, neste tipo de estudo, dispor de informação, não só relativamente ao edifício, como também ao clima exterior, nomeadamente, às variáveis ambientais esperadas ao longo do ano na região onde o edifício irá ser construído (Conceição 2003; Conceição *et al*, 2006a; 2007 2008a; 2008b; 2008d; Lopes 2008).

Foram apresentados resultados relativos ao trabalho de um sistema passivo desenvolvido para o edifício das Faculdades de Economia e Ciência e Tecnologia, na região do Algarve, efectuado em condições de Verão e de Inverno. Foi realizada uma avaliação das condições de conforto térmico, a que os funcionários, professores e estudantes estariam sujeitos, em condições de Verão e Inverno. Foi utilizando um software que simula a resposta térmica de edifícios com topologia complexa, através do modelo baseado em equações integrais de balanço térmico e mássico, denominado *Multi-node Building Thermal Behavior*. Sombreamento por cima das janelas voltadas a Sul e o telhado de quatro águas conseguem reduzir os valores da temperatura do ar interior, em condições de Verão, levando o ambiente interior para níveis de conforto térmico aceitáveis (Conceição *et al*, 2008a).

Conceição *et al* (2008b) utilizou uma metodologia numérica no controlo inteligente da qualidade térmica e da qualidade do ar em edifícios escolares, em condições de Inverno, com baixos níveis de consumo de energia. O controlo da qualidade térmica foi efectuado a partir do índice de votação média previsível (PMV) e da qualidade do ar a partir da concentração de Dióxido de Carbono na sala de aula. (Conceição 2003 e Conceição *et al*, 2008c). O sistema de ventilação forçada e a metodologia de controlo inteligente desenvolvida proporcionou simultaneamente níveis aceitáveis de qualidade do ar e da qualidade térmica aos ocupantes, com níveis reduzidos de consumo energético por parte deste tipo de edifícios.

Em Conceição *et al* (2008c) foram apresentados resultados relativamente à avaliação das condições do nível de conforto térmico dos ocupantes do Complexo Pedagógico no Campus de Gambelas da Universidade do Algarve, em condições de Inverno e em regime transitório. Para além da ocupação e da topologia da ventilação, foram também tidos em conta não só os valores da temperatura radiante e da temperatura, velocidade e humidade relativa do ar verificados nos diferentes espaços, como também dos níveis de actividade e de vestuário dos ocupantes. Verificou-se que na parte da manhã nos espaços voltados tanto a Este como Oeste e durante todo o dia nos espaços interiores há necessidade de aquecimento do ar interior.

3. Enquadramento do Trabalho

O enquadramento geral do trabalho, presentemente desenvolvido, apresenta uma metodologia numérica utilizada na modelação da resposta térmica de edifícios com topologia complexa e na avaliação do nível de conforto térmico a que os ocupantes estão sujeitos.

3.1. Enquadramento Geral do Trabalho

Os recentes desenvolvimentos no campo do direito internacional, dos direitos humanos, levam a crer que está em curso uma abertura às perspectivas que integrem a preocupação ambiental no discurso e na prática dos direitos humanos, a bem dos indivíduos e do planeta. Desta forma como o horror das duas guerras mundiais impulsionou a criação dos instrumentos de protecção global da pessoa humana, as alarmantes evidências do aquecimento global, a perda da biodiversidade, a exploração indiscriminada dos recursos naturais, os limites de uma economia ineficiente e baseada nos combustíveis fósseis, a crise ambiental, de modo geral podem levar ao que parece um ponto de inflexão, onde o respeito aos Acordos Ambientais e aos requisitos da governança ambiental, assim como o fortalecimento e a criação de mecanismos de cumprimento e controlo das obrigações assumidas nesses tratados multilaterais, serão os grandes desafios a serem enfrentados, nesse campo, pela comunidade internacional (Fonseca, 2007).

O Sul de Portugal, mais propriamente na zona Algarvia, possui um clima bastante peculiar e apresenta altos níveis de radiação solar durante todo o ano. Devido a esta característica, durante os meses de inverno a temperatura do ar não chega a baixar muito, não obstante, podem-se registar valores indicadores de desconforto térmico. Esta situação influencia os ocupantes dos edifícios, a nível de conforto térmico (Kurazumia *et al*, 2008), e também contribui para um maior consumo de energia ao nível dos edifícios (Conceição *et al* 2007; 2008d).

Existem vários tipos diferentes de fenómenos de convecção entre as superfícies internas ou externas dos edifícios e fluidos adjacentes (Conceição *et al*, 2006b; 2007). Na determinação do coeficiente de transferência de calor são usadas equações empíricas (Guyer *et al* 1999, *in* Conceição 2003). A temática da simulação numérica quando empregada no comportamento térmico de edifícios tem sido estudada por inúmeros autores como Wisse (1994), Conceição (2003), Yam *et al* (2003), Conceição *et al* (2006a; 2007; 2008a; 2008b; 2008c; 2008d), Pragana *et al* (2007), Lopes (2008).

Os novos conceitos de edifícios energeticamente eficientes e as suas tecnologias exigem uma revisão das normas de conforto, que foram desenvolvidas apenas para edifícios com ar-condicionado (Wagner *et al*, 2003; Conceição *et al*, 2007). O nível de conforto térmico em ambientes moderados (não susceptíveis de causar variações significativas na temperatura do corpo humano) (Conceição *et al*, 2006b) é avaliado recorrendo aos índices de votação média previsível (PMV) e percentagem de pessoas

termicamente insatisfeitas (PPD) de acordo com Olesen (2002) e Fanger (1970) in Conceição *et al* (2008c).

É evidente que os utilizadores de espaços fechados se confrontam com um ambiente hostil e deveriam depender dum sistema de ventilação que lhes fornecesse ar de qualidade adequada para respirarem (Olesen, 2002). A ventilação é a ferramenta mais versátil de controlo atmosférico para os designers de espaços fechados (Kurazumia *et al*, 2008). Esta ventilação não é nada mais, nada menos, que a aplicação do princípio dos fluidos dinâmicos para a corrente de ar das aberturas (Olesen, 2002; Jeong *et al*, 2003). Como meios primários de controlo de qualidade, a ventilação é responsável pela circulação de ar, tanto na quantidade como na direcção, por todo o espaço (Kurazumia *et al*, 2008). Este é um dos processos que constituem na ventilação condicionada dum espaço interior, o controlo simultâneo dentro dos limites da qualidade, quantidade, temperatura do ar e humidade relativa do ar interior (Aluclu *et al*, 2005; Conceição *et al*, 2006b; 2007).

Em espaços amplos interiores, os objectivos ambientais requerem que se utilize ar condicionado de modo a atingir qualidade, temperatura e humidade relativa normalizadas (Conceição *et al*, 2007), bem como um caudal de ar desejado (Lopes *et al*, 2008). No passar dos anos, estas normas têm vindo a ser substancialmente cada vez mais exigentes (Olesen, 2002). Os utilizadores e construtores de edifícios de serviço, como escritórios ou escolas pedem um local de trabalho mais estimulante e com um melhor ambiente de trabalho (Aluclu *et al*, 2005).

A produtividade e satisfação dos ocupantes possuem uma correlação aproximada com a qualidade ambiental (Olesen, 2002; Conceição *et al*, 2006b). A composição química do ar é amplamente definida como uma substância indesejável que normalmente não se encontra presente no ar ou numa concentração excessiva (Samuel *et al*, 2006). Os contaminantes poderão ser tanto não particulados como particulados. Contaminantes particulados incluem névoas e nevoeiros, não obstante contaminantes sólidos abrangem fumos e organismos como bactérias e pólenes (Aluclu *et al*, 2005).

3.2. Estudo de Caso

Este trabalho concentra-se no estudo do edifício da Faculdade de Economia e Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve no campus de Gambelas. Serão colocados quer o nível de conforto a que os edifícios estão sujeitos, quer o campo de temperatura interno.

3.2.1. Localização do Caso de Estudo

As Faculdades (de Economia e de Ciências e Tecnologia) que foram estudadas situam-se no concelho de Faro, a Noroeste de Gambelas, a Oeste da estrada nacional 125 (figura 3 e anexo I) e a Norte do Aeroporto Internacional de Faro. Este local foi visitado pessoalmente e fotografado em diversos ângulos para melhor tomar

conhecimento do edifício e da zona envolvente, podendo melhorar e aperfeiçoar o seu exterior com vista a aproximar a planta o mais possível da realidade, como se poderá visualizar nos registos fotográficos e a partir deles nas figuras 4, 8, 9 e 10.

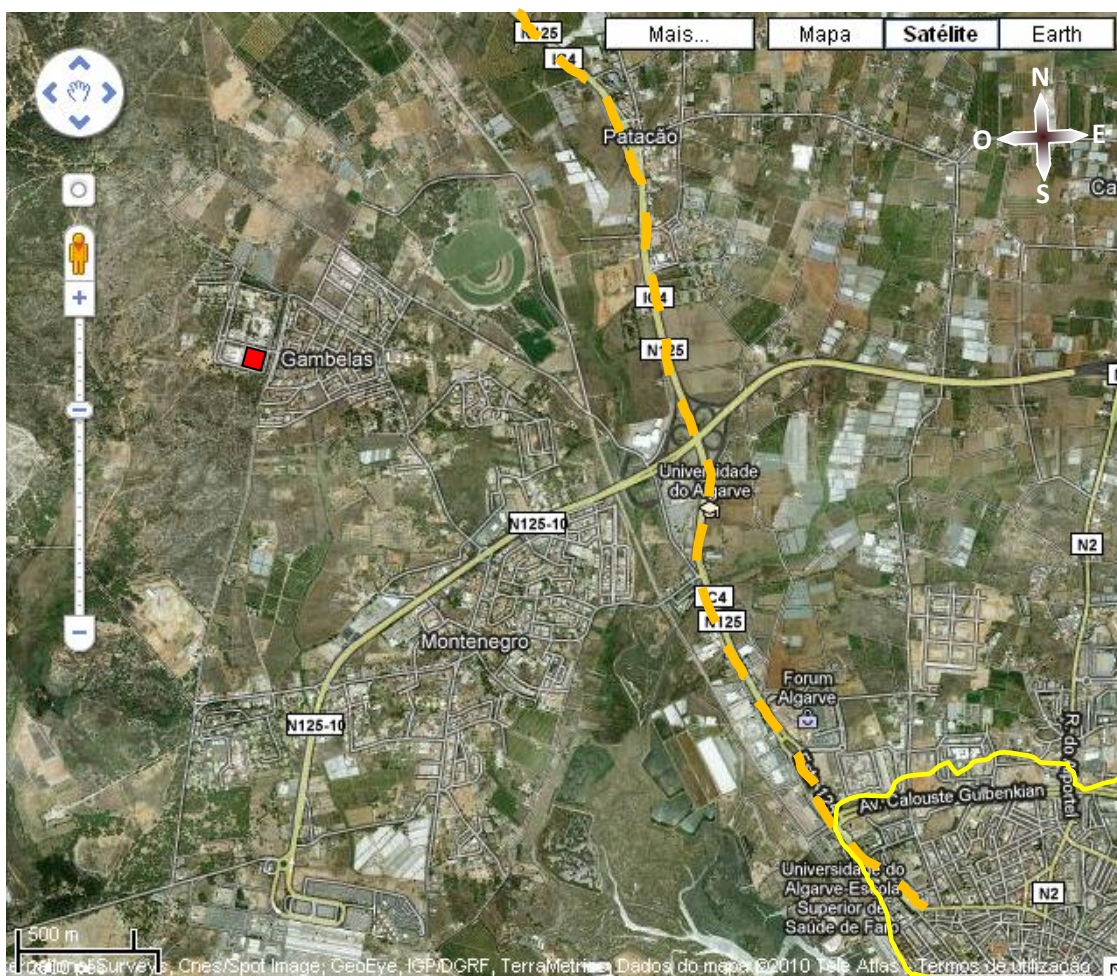


Figura 3: Localização geográfica da FE e FCT no campus de Gambelas da UAlg (a vermelho em forma de quadrado) na zona Noroeste de Montenegro, a tracejado cor-de-laranja é a estrada nacional 125 atravessada perpendicularmente pela estrada que leva ao Aeroporto Internacional de Faro ficando na zona Sudoeste, em que Faro se encontra na zona Sudeste deste mapa (assinalada a amarelo), retirado do *Google Earth*.

No que diz respeito à Universidade do Algarve (campus de Gambelas), trata-se de uma área bastante sossegada, pouco ruidosa e praticamente não poluída a nível atmosférico, onde se pode respirar o ar puro do Pinhal, que também abrange parte do campus. A zona envolvente mais abrangente faz com que se localize adjacente a uma área residencial (prédios até um máximo de 5 andares e moradias) a Este é rodeada pela Mata do Pontal (composta maioritariamente por pinhal, zona protegida) tanto a Sul como a Oeste, sendo que na zona Norte se encontram campos agrícolas não explorados intensivamente.

Nesta altura já se verifica a vontade de transformar a Mata do Pontal no Parque Ambiental do Pontal, de forma a proteger, preservar e valorizar esta zona tão rica a nível de biodiversidade, que rodeia cerca de 50% da Universidade do Algarve, será

uma forma ideal de preservar a calma envolvente desta instituição, não obstante as características ambientais.

3.2.2. Caracterização do Caso de Estudo

Tal como se verá mais à frente, com o crescimento da população Algarvia naquela zona, bem como a distribuição espacial de universidades a nível nacional, verificou-se a necessidade de construir a UAlg e neste trabalho de Engenharia do Ambiente tem-se um caso em vista, o edifício que engloba a FE e FCT (figura 4 e 5). Neste capítulo procedeu-se ao enquadramento histórico do edifício que será utilizado neste trabalho.

A pequena faixa do litoral algarvio concentra a maioria da população da região, contrastando com a serra praticamente desabitada. Entre 1970 e 1991, verificou-se um aumento acentuado da população residente na bacia hidrográfica da Ria Formosa. A população passou de 93.904 habitantes, em 1970, para cerca de 140.400 habitantes, em 1991 (adaptado de CCR-Algarve, 1984; CCR-Algarve, 1998; Procesi *et al*,1999). Com este acentuado crescimento da população verificou-se a necessidade da criação de uma Universidade que pudesse ir ao encontro daquele incremento. A Universidade do Algarve foi criada em 1979 e estrutura-se em unidades orgânicas, para efeito de ensino e de investigação científica, bem como serviços (Universidade do Algarve - Anuário,1991-92 e 1992-93). A UAlg tal como existe neste momento resulta da união das duas instituições, a Universidade do Algarve e do Instituto Politécnico de Faro (Reitoria, 1997-98 e 1999). Com 31 anos contados de serviços à comunidade, a UAlg tem consolidado o seu desenvolvimento, quer em termos estruturais e administrativos, quer em termos académicos e pedagógicos. Composta por três campi (Penha, Gambelas e Saúde), na cidade de Faro e um campus em Portimão, conta actualmente com espaços amplos, infra-estruturas e equipamentos que proporcionam excelentes condições de estudo, trabalho, investigação e socialização a uma população de cerca de 10.000 estudantes, 700 docentes e 400 funcionários (Wikidot, 2007).

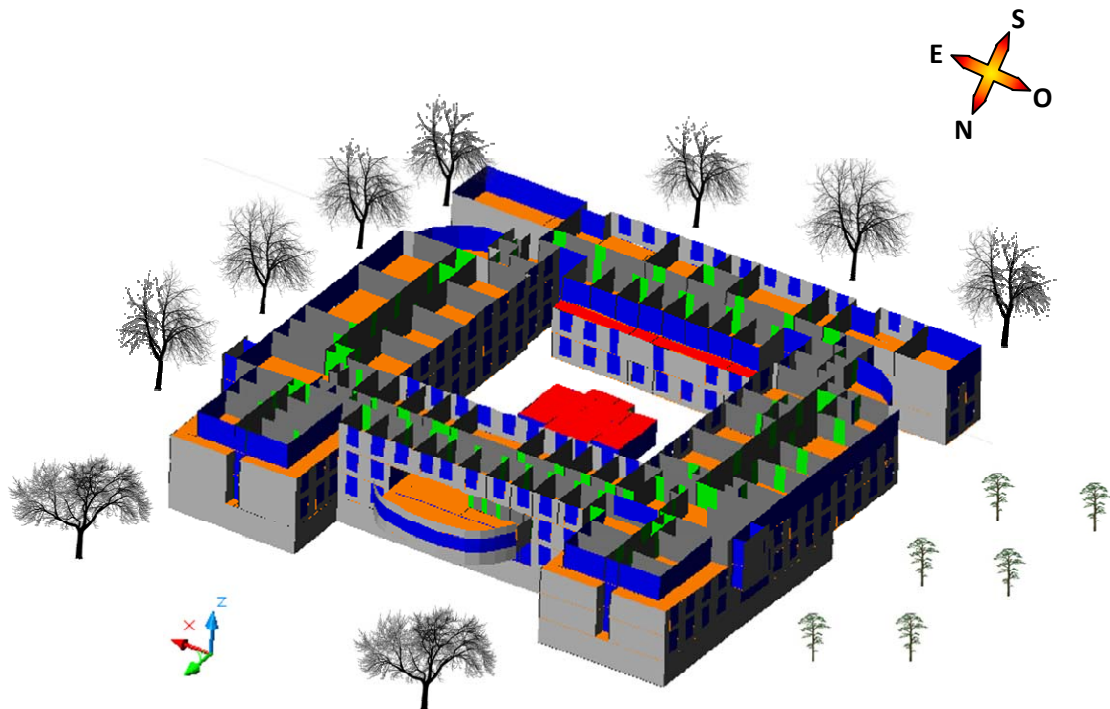


Figura 4: Compartimentos superiores sem cobertura superior das faculdades de Economia e Ciências e Tecnologia da UAlg, desenho 3D. Representação das árvores circundantes ao edifício tal como acontece na realidade.

O estudo deste edifício universitário foi iniciado por Pragana *et al*, em Maio de 2007 no âmbito de um estudo preliminar intitulado “Simulação do Comportamento Térmico de Edifícios Escolares na Região do Algarve”, do qual faziam parte a Escola E.B. 2,3 Dr. Joaquim Magalhães constituída por 5 edifícios adjacentes; a Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente (agora também FCT); o Complexo Pedagógico; a Faculdade de Economia e Recursos Naturais e por último a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve.

Neste trabalho, que teve como base as plantas (ver figura 4) já minimamente trabalhadas pelas colegas acima referidas, procedendo-se a várias fases de correcção de erros e a alterações necessárias para a aproximação da planta digital à realidade, de modo a conseguir melhorar de forma significativa dos resultados.

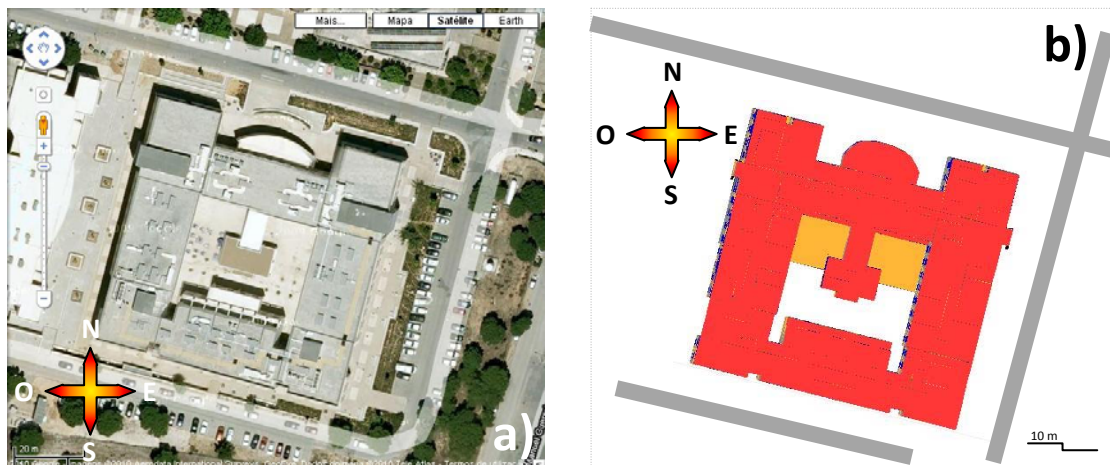


Figura 5: Comparação da vista por satélite com o desenho assistido por computador do caso de estudo. **a)** Vista superior das Faculdades de Economia (FE) e de Ciências e Tecnologia (FCT) retirada do *Google Earth*. **b)** Desenho da FE e FCT a partir de um desenho 3D, a cinzento encontram-se representadas as vias de circulação automóvel em redor do edifício.

O edifício em estudo consiste numa construção relativamente recente na Universidade do Algarve em geral e no campus de Gambelas em particular, tendo menos de 10 anos, logo já fazendo bom uso de materiais e tecnologias que vêm melhorar a sua eficiência energética e a qualidade do ar interior, consequentemente o bem-estar dos ocupantes nas salas de aulas, gabinetes, salas de computadores e anfiteatros.

Serão consideradas as medições de PMV, temperatura do ar, radiação solar e dióxido de carbono de cada um dos compartimentos que constituem o edifício (figura 5).

A simulação numérica do edifício universitário permite prever o seu desempenho térmico (radiação solar) e propor algumas alterações de forma a ir ao encontro das necessidades de melhoria da qualidade térmica e do ar, para proporcionar uma melhor qualidade de vida nos funcionários, alunos e professores do ensino superior no trabalho que desenvolvem diariamente (anexo 3, 4, 5 e 6).

É claro que esta simulação numérica vem com certeza trazer mais conhecimento no que respeita aos edifícios estudados segundo este processo no Mundo em geral e no Algarve em particular. Trata-se dum edifício de grandes dimensões com uma forma semelhante a um quadrado, aberto no centro. Pelos dados do projecto deste edifício e por ser também um projecto relativamente recente já inclui algumas particularidades previstas em projecto que o tornarão mais eficiente, por exemplo evitando e minimizando a sua exposição solar, nomeadamente em relação às superfícies transparentes, como algumas palas horizontais e outras verticais que servem de cobertura (a nível horizontal) procedendo ao sombreamento das superfícies transparentes; a grande maioria das superfícies transparentes encontram-se agora com uma película espelhada (as janelas que não possuem persianas) desde à um ano para reduzir a entrada de luz directa; as janelas encontram-se recuadas em relação às diversas fachadas do edifício; estores verticais com lamelas horizontais em todas as janelas pequenas ou normais, de uso manual (não considerado neste estudo, nem as

árvores circundantes ao edifício); árvores de pequeno porte mais próximas do edifício nas fachadas a Sul e Oeste; árvores de grande porte um pouco mais afastadas da estrutura académica nas fachadas a Sul, Este e Norte; na fachada Norte as janelas do piso do 1º andar com uma forma arredondada possuem cortinas verticais com lamelas também verticais.

Dependendo do calendário anual dos vários cursos ministrados naquelas faculdades, em média, entre os meses de Setembro e Julho, o edifício será utilizado por alunos, professores e funcionários de uma forma mais intensiva, o que faz com que minimize a exposição dos seus ocupantes, ao calor nas salas de aula (ver anexos 2, 3, 4, 5 e 6), mas por outro lado expõem-os aos meses de Inverno.

Como não se possui acesso ao projecto inicial do edifício não se pode comparar o que estava previsto em projecto, com o que está realmente construído.

Estas duas faculdades no mesmo edifício possuem um total de 335 compartimentos. Calculou-se a área de cada um dos 335 compartimentos e o volume de cada compartimento, tendo em conta que o pé direito em qualquer dos dois andares é de 3,6 metros.

No que diz respeito à insolação do edifício, o Sol nasce a Este aquecendo a fachada correspondente (nascente), durante o dia incide mais na fachada Sul e põe-se a Oeste do estabelecimento (poente). A poente, devido à presença de um outro edifício, fica parcialmente sombreada durante a tarde.

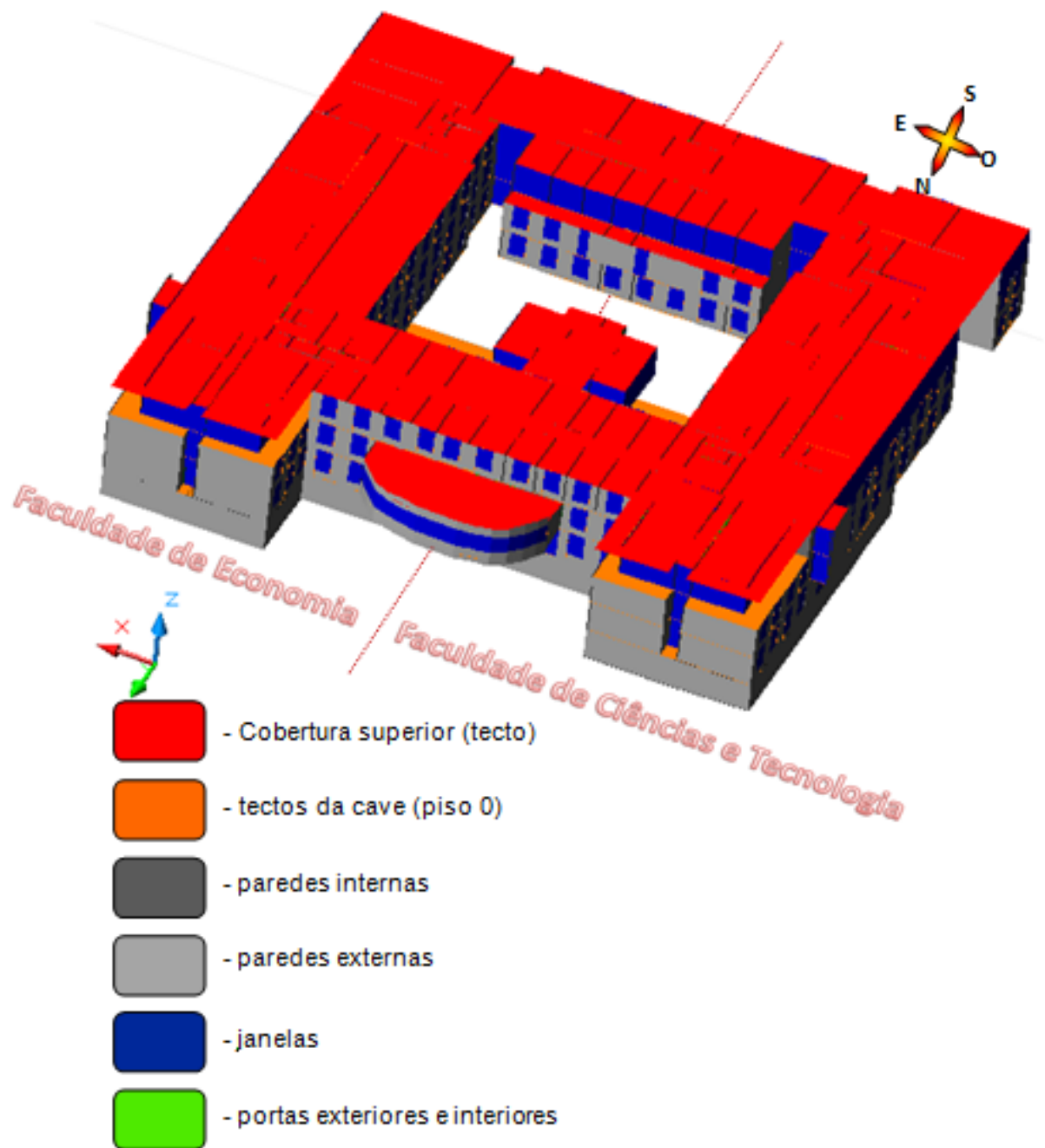


Figura 6: Desenho 3D assistido por computador, das Faculdades de Economia e Ciências e Tecnologia onde se pode verificar a maior parte das janelas voltadas a Este, Sul e Oeste, onde se situam salas de aula, gabinetes e laboratórios. Note-se que o edifício em estudo se encontra dividido em duas Faculdades.

4. Projecto

4.1. Dados de Entrada do Modelo

Na simulação numérica do comportamento térmico do edifício e do conforto dos ocupantes dos espaços interiores é necessária toda uma panóplia de dados de entrada, que será o material com que este *software* (MNTBT) trabalhará, nomeadamente:

- a geometria tridimensional dos edifícios e das envolventes (edifícios ou outros elementos que provoquem sombreamento) quando relevantes para a simulação,
- as propriedades térmicas (a condutibilidade térmica, a resistência térmica e a massa específica) de todos os materiais envolvidos no edifício, considerando a estratificação térmica real e a espessura das diferentes camadas constituintes;
- as variáveis ambientais externas (insolação, temperatura, humidade, velocidade do ar, entre outros) e os dados geográficos;
- dados relativos ao funcionamento do edifício e às características dos seus ocupantes como refere Conceição *et al* (2006a; 2007; 2008c; 2008d) e Lopes (2008).

A partir destes dados de entrada, conhecidos como *inputs*, o programa MNTBT produzirá os respectivos dados de saída, denominados *outputs*, apresentados em Conceição (2003), Conceição *et al* (2007; 2008a; 2008b; 2008c; 2008d) através de fenómenos térmicos e mássicos de entre os quais se destacam os valores:

- da temperatura do ar no interior dos compartimentos e das condutas dos diferentes sistemas, das camadas dos corpos opacos e das condutas dos diferentes sistemas, dos corpos transparentes e dos corpos interiores;
- da massa de vapor de água e outros gases no interior dos compartimentos e das condutas dos diferentes sistemas;
- do vapor de água à superfície dos corpos do edifício;
- do vapor de água e de outros gases na matriz sólida dos corpos opacos e interiores;
- da humidade relativa e da velocidade média do ar no interior dos compartimentos;
- da temperatura média radiante no interior dos compartimentos;
- da radiação solar nas superfícies exteriores, tendo em conta os sombreamentos dos obstáculos existentes no exterior e do próprio edifício;
- da radiação solar que entra através das superfícies transparentes e que incide nas superfícies dos corpos opacos e interiores, tendo em conta os sombreamentos provocados pelas mesmas superfícies;
- das trocas de calor por radiação entre superfícies exteriores do edifício e o céu nocturno ou as superfícies envolventes;
- das trocas radiativas verificadas no interior dos diferentes compartimentos, baseadas no sistema de equações de radiosidade;

- das propriedades radiativas das superfícies transparentes, nomeadamente os coeficientes de absorção, reflexão e transmissão;
- dos coeficientes de transmissão de calor e massa por convecção natural, forçada e mista;
- dos factores de forma, no interior de cada um dos compartimentos, tendo em conta os diferentes sombreamentos;
- do caudal volúmico de ar trocado entre compartimentos, entre compartimentos e o ambiente exterior e entre as condutas dos diferentes sistemas e os espaços;
- da visualização da geometria do edifício em outro tipo de software de representação gráfica;
- do nível de conforto térmico no interior dos espaços. Este programa necessita de utilizar os valores da temperatura, humidade relativa e velocidade do ar, bem como, da temperatura média radiante das superfícies envolventes (Abrantes, 2009).

A simulação numérica da resposta térmica do edifício, como já foi dito anteriormente, será feita recorrendo ao programa MNBTB, que tem sido desenvolvido pelo Prof. Doutor Eusébio da Conceição ao longo dos últimos anos. Outros estudos que recorrem ao mesmo software podem ser consultados em Conceição (2003), Conceição *et al* (2006a; 2007; 2008a; 2008b; 2008c), Lopes (2007; 2008), Pragana *et al* (2007).

Após a simulação numérica, recorrendo aos resultados obtidos, poder-se-á compreender melhor o problema ou os problemas em causa, sejam eles respeitantes ao conforto térmico ou ventilação, para posteriormente se encontrar uma ou várias soluções para cada uma das carências detectadas.

Depois de se identificarem as soluções para os problemas detectados, proceder-se-á à sua transposição para o *software*, de modo a avaliar com exactidão a eficiência de cada uma das alterações propostas, sejam na QAI, recorrendo aos Fluidos Dinâmicos Computacionais (CFD) (Samuel *et al*, 2006), ou no conforto através de PPD, PMV, Conceição (2003), Conceição *et al* (2008c) e Lopes (2008).

Lopes (2008) refere que, em estudos anteriores com método similar ao que se utilizará neste estudo, os gráficos do ciclo das 24 horas de um dia são a forma mais rápida e eficiente para fazer o tratamento dos resultados das simulações, podendo-se facilmente observar e identificar alterações que ocorrem ao longo do dia na resposta do edifício a diferentes *inputs*.

4.2. Descrição Detalhada do Caso de Estudo

Como seria de esperar este estudo possui diversas fases de trabalho, sempre com o objectivo não só de acrescentar conhecimento a todo o trabalho científico que se tem vindo a desenvolver na área da modelação e simulação numérica, mas também permitir aprofundar o conhecimento das características térmicas das faculdades.

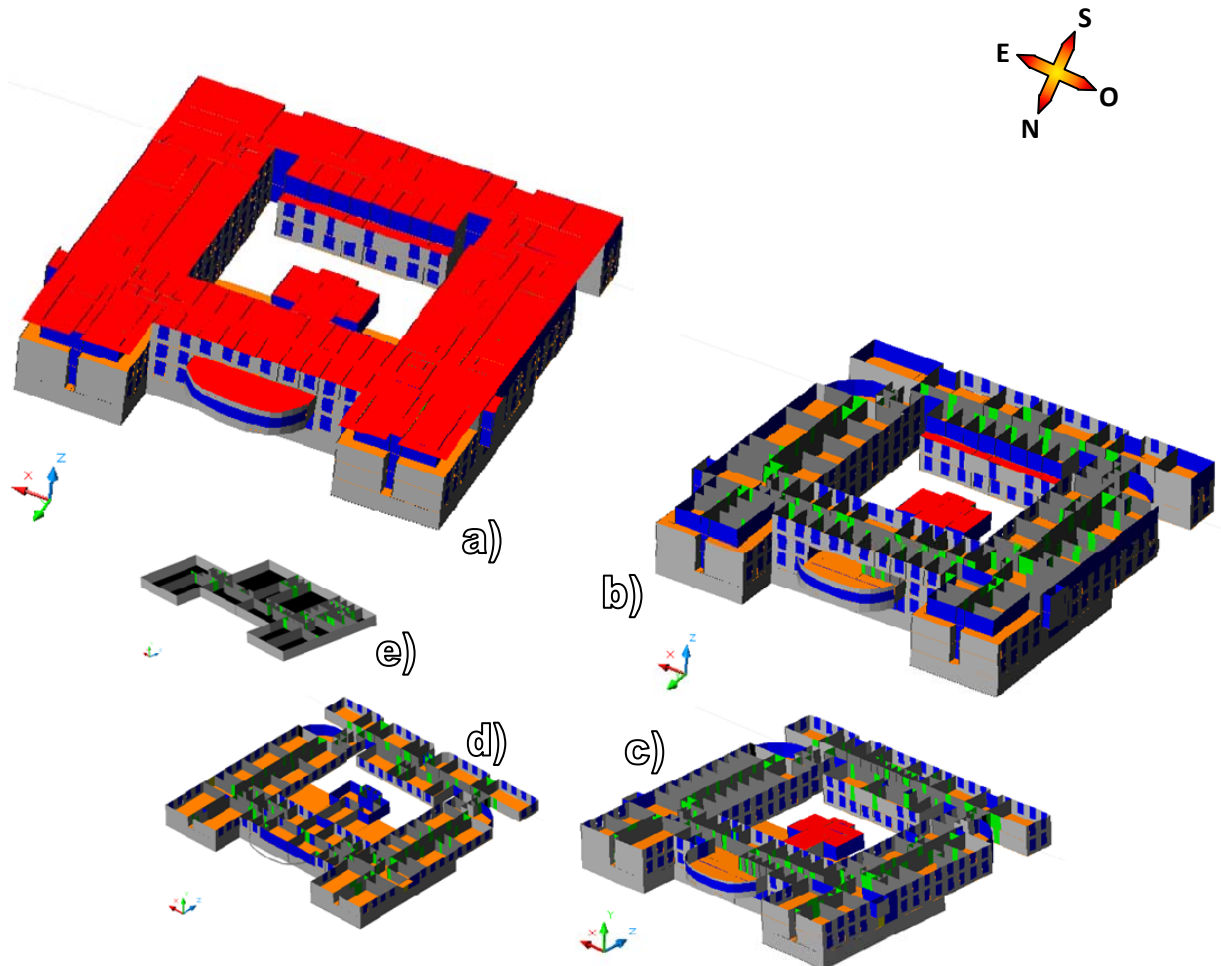


Figura 7: Desenho assistido por computador. **a)** Edifício em estudo completo; **b)** Complexo sem cobertura superior no 2º piso; **c)** sem cobertura no 1º piso; **d)** sem cobertura no piso 0, rés-do-chão; **e)** sem cobertura na cave, piso -1.

Qualquer trabalho implica uma metodologia que nos permita preparar, neste caso, uma planta (figura 7) de modo a poder efectuar uma ou mais simulações numéricas com recurso ao software “Multi-node Building Thermal Behavior”, bem como analisar a informação daí resultante que nos permita decidir sobre que medidas a tomar. Para tal, foi feito uso das linhas orientadoras e metodologias inerentes ao Manual Prático desenvolvido por Lopes (2007), especialmente para auxiliar na preparação do projecto a simular.

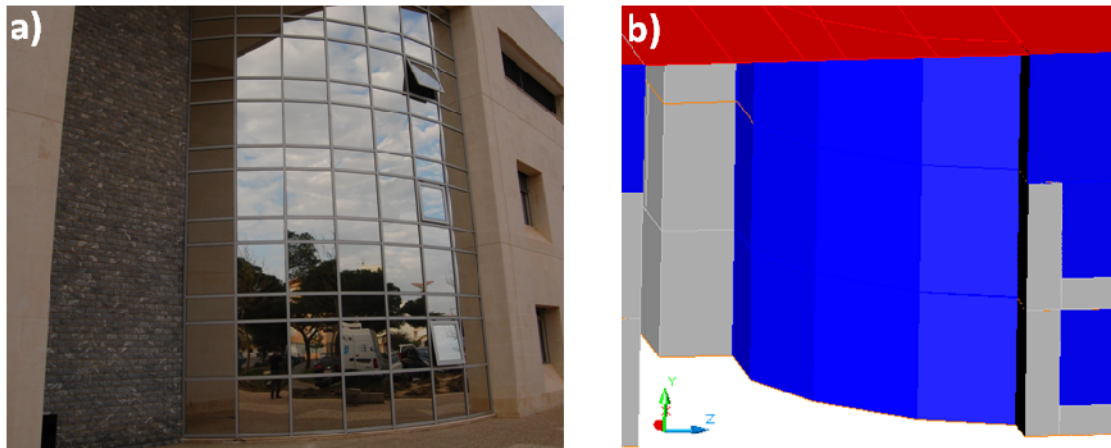


Figura 8: Comparação de uma fotografia (a) com o desenho (b), para se observar a vitrina adicionada, voltada a nascente (Este).

De seguida procede-se à enumeração do conjunto das várias tarefas que fizeram parte do estudo, tratando-se duma preciosa ferramenta de auxílio que irá permitir uma visualização mais abrangente e geral deste estudo, nomeadamente desenhar o **edifício 3D**, formatar o **desenho à Escala**, perceber como potenciar o **controlo das Layers**, conhecer o **comando Ortho**, **controlo dos Object Snap**, **localização do desenho no espaço**, **desenho da planta**, **desenho das 3D Faces** (superfícies com 4 pontos e cada uma delas com coordenadas x, y e z, que permite facilitar o trabalho posterior de orientação das superfícies), **numeração das superfícies**, **compartimentos**, **superfícies opacas**, **superfícies transparentes**, **listagem**, **completar os ficheiros Excel**, **atribuição do tipo de paredes**, **atribuição dos IN e OUT** (fronteiras), **atribuição dos FI e BETA** (ângulos), **criar o ficheiro dos volumes**, **verificação de erros**. Verificou-se a necessidade de repetir algumas daquelas etapas para um melhor desempenho do modelo.

O **controlo das layers**, sabendo que funcionam como “folha de papel vegetal” (Lopes, 2007), permitindo-nos facilitar a tarefa de agrupar, visualizar e manipular várias superfícies. Neste caso criaram-se várias *layers* para o rés-do-chão que passo a discriminar: chão do rés-do-chão em contacto com o solo (de cor verde); paredes externas que dividem o interior das faculdades do exterior (a cor-de-laranja); paredes internas que servem de fronteira entre os vários compartimentos/divisões no interior do edifício (a amarelo); portas que em contacto com o exterior (a vermelho escuro); portas interiores (a vermelho); por último janelas em que a nomenclatura usada será superfícies transparentes (a azul) agindo de forma idêntica para o 1º andar, tanto para o chão como para o respectivo telhado (anexos 3, 4, 5, e 6).

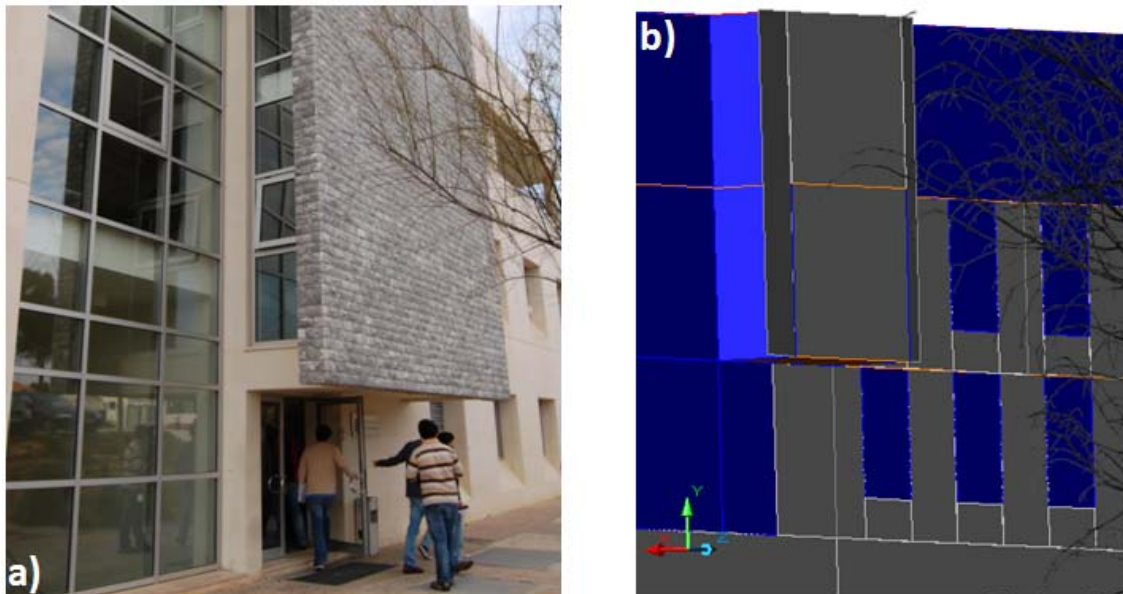


Figura 9: Comparação de uma fotografia (a) com o desenho em 3D (b), para se observar as palas laterais que funcionam como extensão de fachada (cinzento escuro), voltada a nascente (Este).

Quanto à orientação em que o edifício está implementado, deverá considerar-se que o eixo XY funciona como a rosa-dos-ventos, sendo que a direcção Sul-Norte corresponde ao eixo dos Ys, e a direcção Oeste-Este ao eixo dos Xs.”.

Segue uma tarefa de muita persistência e pormenor, a **listagem e numeração das superfícies**, que mesmo sendo processos distintos devem ser feitos ao mesmo tempo para evitar erros. A **numeração** é importante para de uma forma expedita se encontrar a superfície desejada. Neste caso para os **compartimentos** tem-se em conta o compartimento zero como sendo o ambiente exterior (ar exterior que envolve o edifício) e o compartimento 1 é o sub-solo (onde a escola assenta), porventura o primeiro compartimento da faculdade a ser numerado começará no número 2. Foram tidos em conta alguns cuidados tais como, iniciar a numeração no piso de baixo (rés-do-chão) junto ao ponto da origem, seguindo no mesmo piso no sentido dos ponteiros do relógio, de baixo para cima, continuando da mesma forma para o piso de cima (1º andar). Para a **numeração das superfícies** estas dividem-se em opacas (não permitem que sejam atravessadas por luz) e as transparentes (podem ser atravessadas por luz). Convém ter em atenção a numeração no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, começando nas superfícies opacas, mais propriamente no chão do rés-do-chão; as paredes e portas exteriores; as paredes e portas interiores; tecto do rés-do-chão que será o chão do 1º andar; paredes e portas exteriores do andar de cima; paredes e portas interiores do 1º andar e por fim o tecto, que totaliza 2904 superfícies/planos opacos apesar das simplificações. Ao numerar as paredes e portas interiores deve-se ter em atenção o compartimento a que se refere.

Como foi previamente explicado as superfícies transparentes são as janelas e portas de vidro, que devem ser numeradas após as opacas, primeiro o piso de baixo e depois o de cima, o que perfaz um total de 404 superfícies deste tipo, em que se encontram

distribuídas em redor de todo o complexo, o que maximiza a entrada de luz nas salas de aulas, gabinetes e anfiteatros (figura 10).

Após ter concluído os ficheiros Excel, referidos anteriormente, nas listagens das superfícies atribui-se o tipo de cada superfície opaca (existem 6 tipos diferentes), em função do utilizado:

- a) Constituição de uma parede exterior – Tipo 1;
- b) Constituição de uma porta – Tipo 2;
- c) Constituição de uma parede interior – Tipo 3;
- d) Constituição de telhados (telha) – Tipo 4;
- e) Constituição de placas terra – Tipo 5;
- f) Constituição de placas ou cobertura (betão) – Tipo 6.

As superfícies transparentes encontram-se num ficheiro à parte com a numeração de 1 até 404.



Figura 10: Comparação de uma fotografia (a) com o desenho (b), para se observar a extensão da fachada para cima e para baixo através de palas superiores e inferiores, voltada a Norte.

Outro passo importante trata-se da **verificação de erros nos compartimentos**, efectuado individualmente para cada um dos 344 compartimentos que constituem a Faculdade de Economia e a de Ciências e Tecnologia, de modo a verificar se existem atribuições de tipologias erradas (tipo de material) e superfícies que constituem os compartimentos (*IN* e *OUT*). A sua detecção e correcção de erros é efectuada com recurso ao *software* de desenho 3D através de filtros que nos permitem isolar cada uma das divisões. As correcções serão feitas manualmente nos ficheiros das listagens em *Excel*.

5. Discussão dos Resultados

A Faculdade de Economia e Ciências e Tecnologia (figura 11) são das Faculdades mais recentes, tendo em conta todos os quatro Campus da Universidade do Algarve, localizada no Campus de Gambelas. Quando se refere aos seus equipamentos constata-se que contém actualmente um sistema de ar condicionado central que permite controlar a temperatura interior do ar a aplicar ao longo do dia, de forma automática. Sendo desta forma estudada de maneira a poder-se identificar (após simulação) as situações e os compartimentos onde ocorre desconforto térmico para que haja uma melhoria de habitabilidade num futuro próximo após sugestão e implementação de medidas mitigadoras sempre tendo em vista as preocupações de sustentabilidade ambiental. Este edifício compreende 2904 corpos opacos e 404 corpos transparentes, os quais se encontram distribuídos em 344 compartimentos.

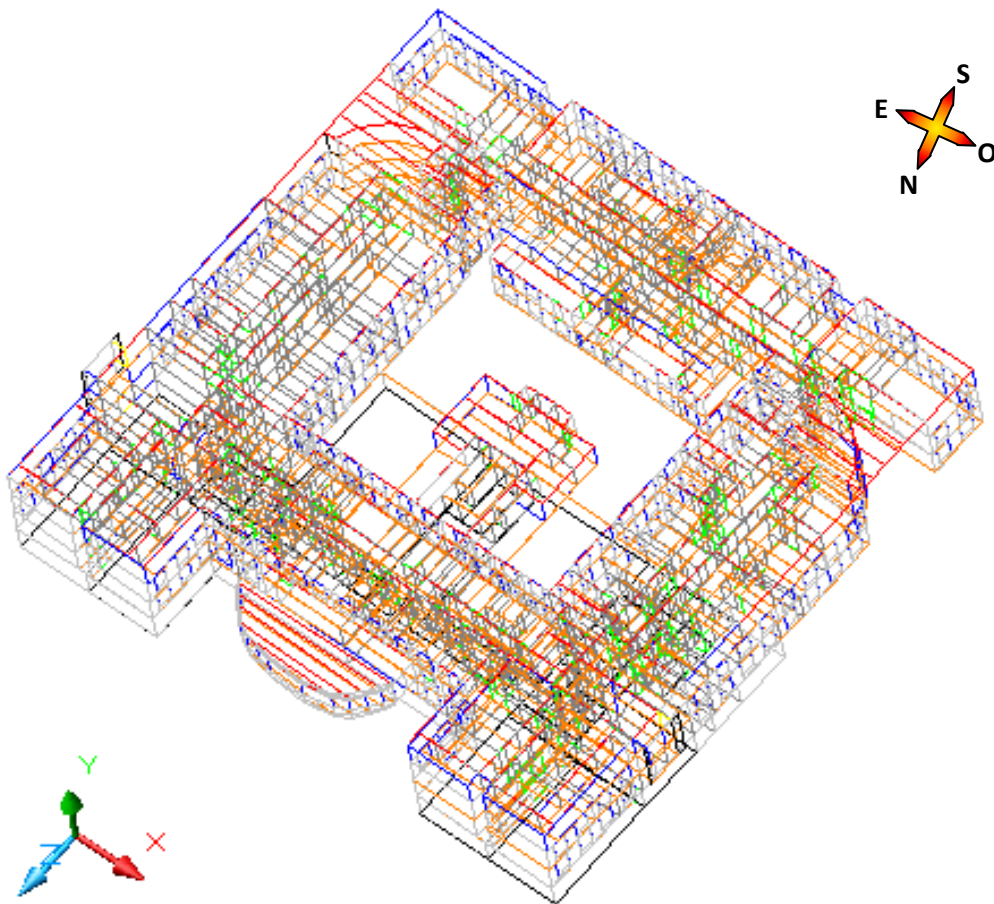


Figura 11: Desenho assistido por computador, das Faculdades de Economia e Ciências e Tecnologia da UAlg.

A partir do programa “*Multi-Node Building Thermal Behaviour*” foi considerado um dia para a simulação, desde as 0 horas até às 24 horas. As figuras a seguir mostram o período diurno, desde as 8h até as 20h, que representa o período de maior ocupação

do edifício universitário (horário laboral). Fala-se de um complexo que possui uma cave totalmente abaixo do nível do solo que não recebe radiação solar, um rés-do-chão com o bar situado no átrio no centro do edifício, um primeiro andar e um segundo andar.

Para um estudo mais pormenorizado deste edifício, seleccionaram-se algumas divisões que fossem representativas das várias realidades e utilizações dos compartimentos no que diz respeito ao conforto térmico e temperatura do ar.

De seguida faz-se uma descrição e enquadramento dos vários compartimentos escolhidos para esta análise mais pormenorizada. Ao observar as figuras e as suas legendas verifica-se que o estudo se debruçou sobre os compartimentos 35; 112; 170; 185; 205; 227; 242 e 311.

O **compartimento 35** corresponde ao auditório 1.16 situado na cave (ver anexo 7): não se encontra sujeito a radiação solar, sendo usado tanto para conferências, como aulas e exames, com uma capacidade que rondará os 150 lugares sentados. Metade da área das suas paredes encontra-se em contacto com compartimentos envolventes, e a área restante em contacto com o subsolo.

De seguida tem-se o **compartimento 112**, divisão 1.67, no edifício é o refeitório que também serve de bar, local onde professores, alunos e funcionários vão tomar o pequeno-almoço, almoço e lanche. Situa-se no centro do edifício, no rés-do-chão (anexo 8) exposto à radiação solar nas horas de maior calor, mais precisamente à hora de almoço quando tem uma maior afluência.

Continuando a descer na legenda das figuras abaixo pode-se encontrar o **compartimento 170**, tratando-se do gabinete de professores (sala 2.4) situada no primeiro andar (ver anexo 9), na zona Norte do edifício com as janelas voltadas para Sul, para o átrio central do edifício (zona NW). Está rodeada por outros dois compartimentos em ambos os lados e um corredor a Norte. À semelhança do compartimento anterior (112), também este se encontra exposto ao Sol nas horas mais quentes do dia (é o que acontece aos compartimentos que possuem janelas voltadas a Sul, sem sombreamento).

Posteriormente o **compartimento 185**, corresponde à sala de aula 2.74. Situa-se no primeiro andar (ver anexo 9) na zona mais a Nordeste (NE) do edifício, na qual $\frac{1}{4}$ das paredes estão voltadas a Norte, outra a Nascente/Este, enquanto as duas restantes contactam com outros compartimentos (outra sala de aulas e um corredor). Está sujeito a radiação solar desde que o sol nasce até por volta das 11h30m, evitando as horas de maior intensidade solar.

Depois tem-se o **compartimento 205** que diz respeito à sala de Biorreagentes (2.39), também situada no primeiro andar (ver anexo 9). É uma divisão que por motivos óbvios quer-se que tenha uma temperatura fresca, seja arejada e com pouca humidade, de forma a não desencadear reacções biológicas indesejáveis nas experiências lá efectuadas e nos biorreagentes acondicionados. Terá também de ter uma temperatura confortável para que os investigadores lá possam trabalhar pelo

menos oito horas por dia. Localiza-se a SW do edifício, com as janelas voltadas a Norte para o átrio central, em que duas das paredes contactam um compartimento e a outra um corredor, as restantes duas o exterior. Não se espera que esteja em contacto directo substancial com a radiação solar, tendo bastante sombreamento.

Por conseguinte depara-se com o **compartimento 227**, representando o gabinete de dois professores (2.62) no primeiro andar (ver anexo 9) com janelas voltadas a Nascente/Este, com duas paredes contíguas com outros dois gabinetes e a restantes dá acesso ao corredor. Espera-se que esteja sujeita a um aumento de temperatura durante a manhã, visto estar a receber radiação solar directa que virá a diminuir a partir da hora de almoço.

O **compartimento 242** vem logo a seguir na legenda indicando uma sala de aulas dos estudantes de Arquitectura Paisagista, também designada como sala de desenho (3.45). Devido ao facto de se encontrar com uma área grande em contacto com o exterior (quando comparado com outros compartimentos), sendo que tem janelas voltadas a Nascente/Este e a Sul também, vai estar sujeito a bastante radiação solar o que se espera que venha a aumentar bastante a temperatura do ar no seu interior, por conseguinte ser termicamente desconfortável para os estudantes e professores que terão de lá trabalhar durante o dia. Além do mais encontra-se no último andar (segundo andar, ver anexo 10) o que nos indica que o seu tecto também contacta com o exterior que está sujeito à acção do sol nas horas de maior calor.

Por último procedeu-se à análise do **compartimento 311**, divisão 3.64 (ver anexo 10), que se trata de uma pequena sala de aulas em forma de anfiteatro com uma capacidade média de aproximadamente 35 a 45 pessoas. Existem várias salas de aulas semelhantes, escolhendo-se apenas esta por ser representativa das restantes, por exemplo os compartimentos 312 e 313. Tem as janelas viradas para o átrio central do edifício, no segundo andar estando em contacto com outros compartimentos e um corredor. Fica na zona Nordeste, podendo estar mais sujeito a radiação solar a partir da uma da tarde.

Sabendo que a radiação solar que incide em compartimentos com janelas, principalmente nas horas de maior calor ou em que o ângulo de entrada da radiação seja mais perpendicular em relação ao vidro (maximizando a sua entrada), trata-se da principal fonte de aumento da temperatura do ar no interior dos compartimentos (figuras 12 e 14) o que por sua vez provoca um desconforto térmico (figuras 13 e 15) nos seus ocupantes. Estes três parâmetros encontram-se intimamente interligados.

Portanto optou-se por representar graficamente (da figura 12, 13, 14 e 15) compartimentos representativos tendo a conta a sua utilização principalmente por parte de professores e alunos, tanto para o Inverno como para o Verão.

Através da análise da figura 12 observa-se que os compartimentos possuem comportamentos bastante distintos entre si. Em relação a esta figura pretende-se que as linhas do comportamento térmico dos compartimentos se aproximem o mais possível da linha verde a tracejado que simboliza uma temperatura muito próxima do ideal de conforto térmico (ver figura 13). A esta temperatura ambiente (21°C) pode-se

dispensar o uso de ar condicionado para arrefecer/aquecer o espaço interior, poupando energia o que torna o edifício mais sustentável do ponto de vista ambiental, valorizando-o no mercado de imóveis (apesar de ser um edifício escolar), porque permite a poupança de recursos financeiros, tanto no Inverno, como no Verão.

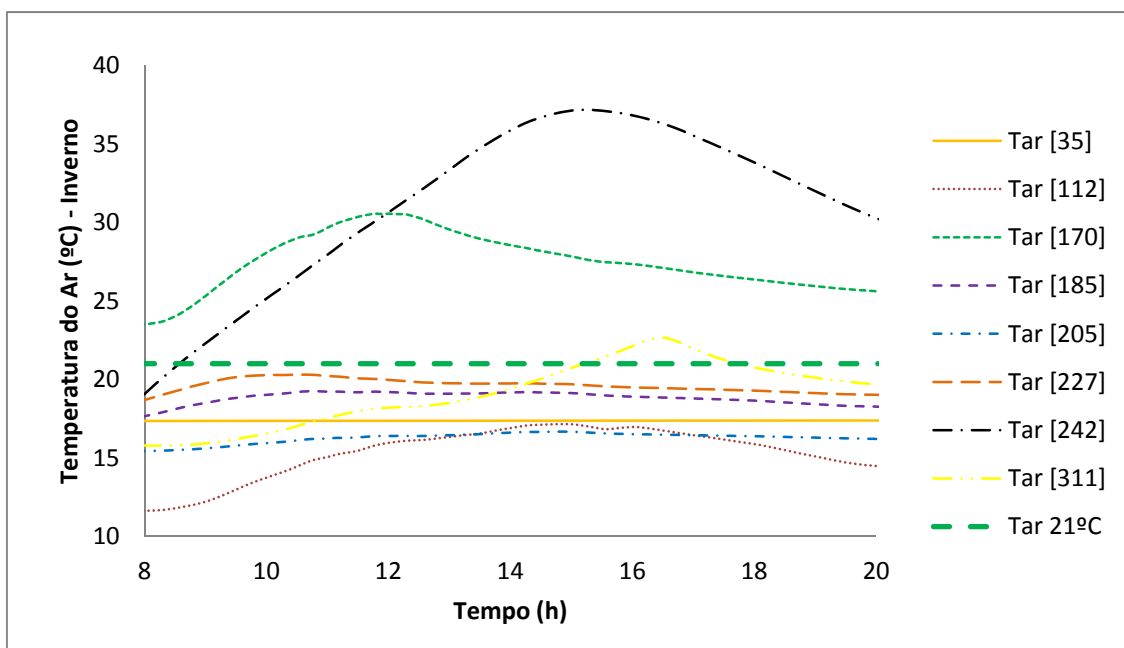


Figura 12: Representação gráfica da evolução da temperatura do ar ao longo de um dia de Inverno, de vários compartimentos de diferentes pisos do edifício em estudo.

A localização das diversas linhas encontra-se abaixo da linha ideal, por se tratar do Inverno, esperando-se que a situação se altere durante o Verão.

De notar que as linhas que mais se aproximam do ideal térmico (21°C), para uma situação no Inverno, são referentes aos compartimentos 311, 227 e 185, respectivamente uma sala de aulas pequena (anfiteatro), o gabinete de professores e uma sala de aulas. Situação que nos permite dizer que compartimentos, nesta altura do ano, que estejam expostos à radiação solar apenas durante a manhã (185 e 227), ou durante a tarde (311), evitando exposição directa durante as maiores horas de calor do dia (hora de almoço), permite esta temperatura interna do ar próxima do ideal. Este comportamento poderá ser também verificado na figura 13.

Já os compartimentos 35, 112, 205 possuem temperaturas um pouco baixas no que concerne ao conforto térmico, a rondar os 17 graus Célsius entre as 14h e as 16h, possivelmente devido à sua localização. O auditório (compartimento 35) não se encontra sequer sujeito a radiação solar directa (por estar na cave), daí a sua temperatura interna ser tão constante e um pouco baixa (possui um excelente isolamento – o subsolo). Por sua vez o refeitório (112) dever-se-á encontrar sombreado por se situar no átrio do edifício, no rés-do-chão, à sua volta situam-se os compartimentos até ao segundo andar e no Inverno o sol encontra-se a uma altitude mais baixa o que provocará o tal sombreado daquele espaço (tanto a Este, Sul e Oeste) de alimentação de professores e alunos. O mesmo já não se deverá passar no Verão, em relação ao refeitório, visto o sol estar mais alto, nas horas de maior calor.

Por fim a sala de biorreagentes (205) como se encontra com as janelas voltadas a Norte a exposição solar será mínima, mantendo-se numa temperatura interior entre os 15 e os 16°C durante um dia de Inverno, uma temperatura constante e razoável no que diz respeito à preservação de biorreagentes, apesar de ser desconfortável para se trabalhar.

A situação altera-se quando analisamos a sala de aulas de Arquitectura Paisagista (242) e o gabinete de professores (170) que possuem temperaturas altas ultrapassando os 35°C no primeiro caso e os 30°C no segundo caso. A sala de desenho (242) é um compartimento que se encontra no último andar, tanto voltado a Nascente/Este como a Sul, uma combinação termicamente desconfortável visto estar a expor esta divisão a muitas horas de sol.

Na figura 13 o ideal será que todas as linhas de comportamento do conforto térmico se encontrem abaixo do PMV máximo e acima do PMV mínimo. O mais próximo possível da linha que equivale a $PMV=0$.

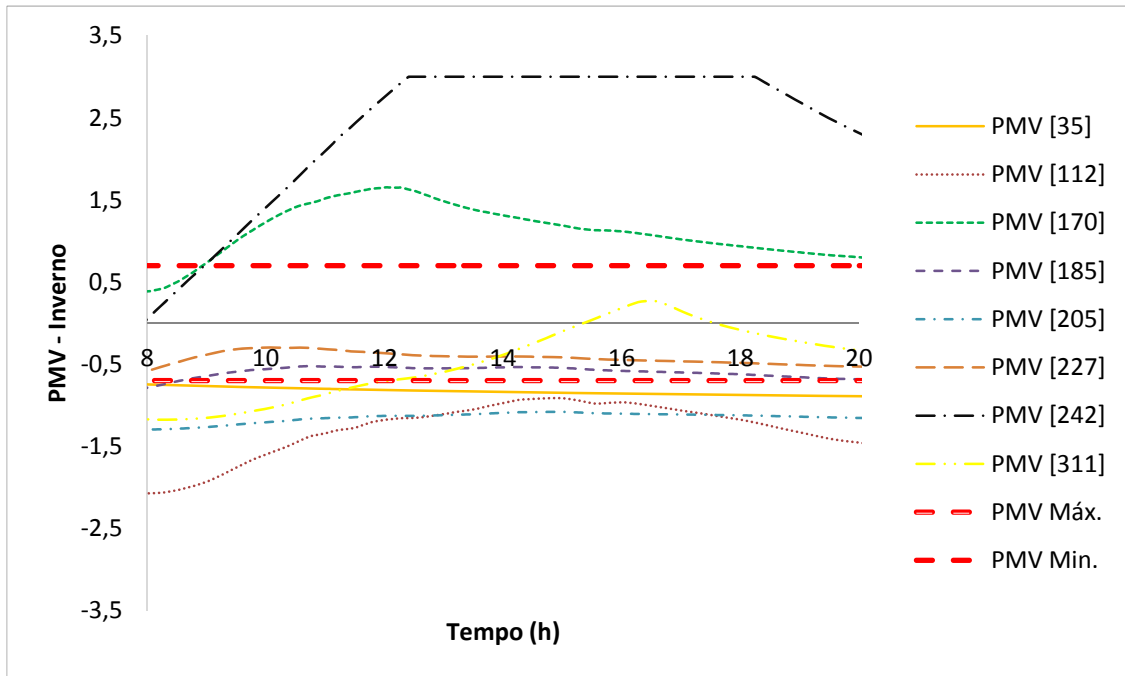


Figura 13: Representação gráfica da evolução da votação média previsível (índice PMV) ao longo de um dia de Inverno, de vários compartimentos de diferentes pisos do edifício em estudo.

Neste caso, quanto mais próximo estiverem do $PMV=0$ mais termicamente confortável será. Tal como havia sido analisado anteriormente, os compartimentos mais confortáveis deverão ser o 185, o 227 e o 311 como se pode verificar agora ao observar a figura 13. Não obstante no caso dos compartimentos 170 e o 242, serem bastante desconfortáveis, por serem bastante quentes, quando comparados com os 35, 112 e 205, que são mais frios.

A localização das diversas linhas da figura 14 encontra-se agora acima da linha ideal (linha verde tracejada), por se tratar de um dia de Verão.

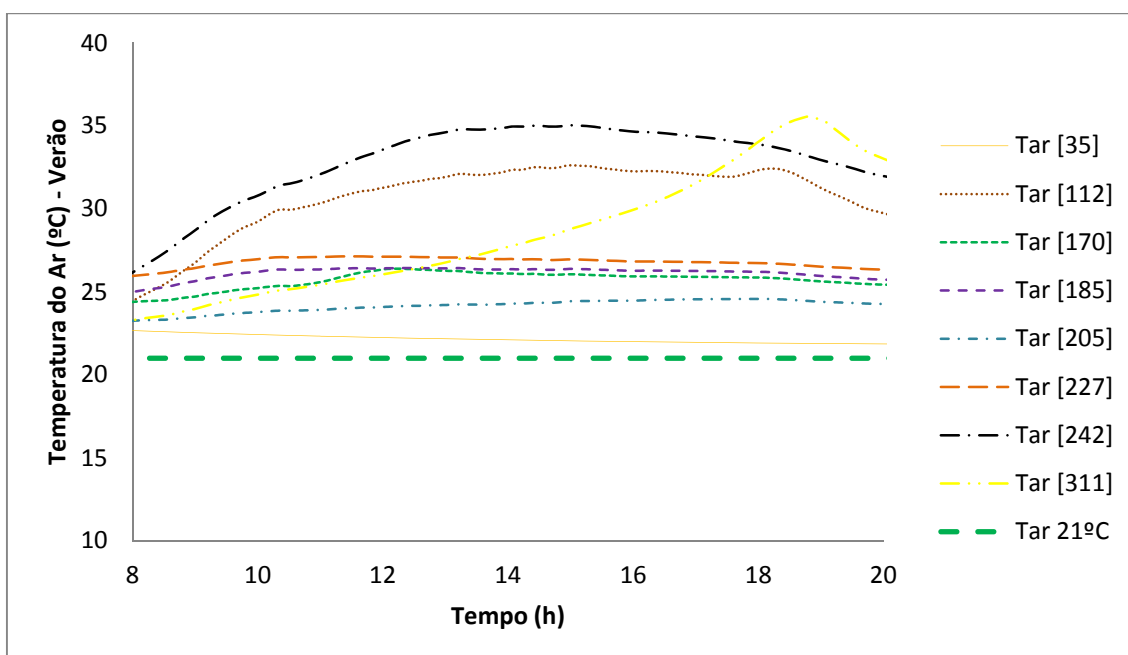


Figura 14: Representação gráfica da evolução da temperatura do ar ao longo de um dia de Verão, de vários compartimentos de diferentes pisos do edifício em estudo.

O comportamento não será muito diferente do que já foi analisado, constatando-se agora que em condições de Verão as linhas das temperaturas encontram-se acima do valor de referência.

As linhas que mais se aproximam do valor ideal (21°C), para uma situação de Verão, estão associadas aos compartimentos 35 e 205, respectivamente para um auditório na cave (capacidade para cerca de 150 estudantes) e para a sala de biorreagentes. Tanto um, como o outro, não apresentam nenhuma, ou muito reduzida, exposição directa à radiação solar.

De seguida tem-se três linhas que se encontram bastante próximas umas das outras, referentes aos compartimentos 170, 185 e 227. Pela ordem referida trata-se da sala de professores (primeiro andar), uma sala de aula (primeiro andar) e um gabinete de professores (também no primeiro andar). As suas temperaturas diárias variam entre os 25,5 e 27°C. A sala de professores (170) estará exposta ao sol directo apenas entre as 11 e as 13h como se verifica na análise das figuras 14 e 15. Na sala de aulas (185) está exposta ao sol directo entre as 9 e as 12h, pelo facto de estar virada a Nascente/Este. A situação do gabinete de professores (227), também voltada a Nascente/Este, é bastante semelhante à anterior (185) com ambas as linhas a andarem paralelas apenas separadas por 0,9°C aproximadamente.

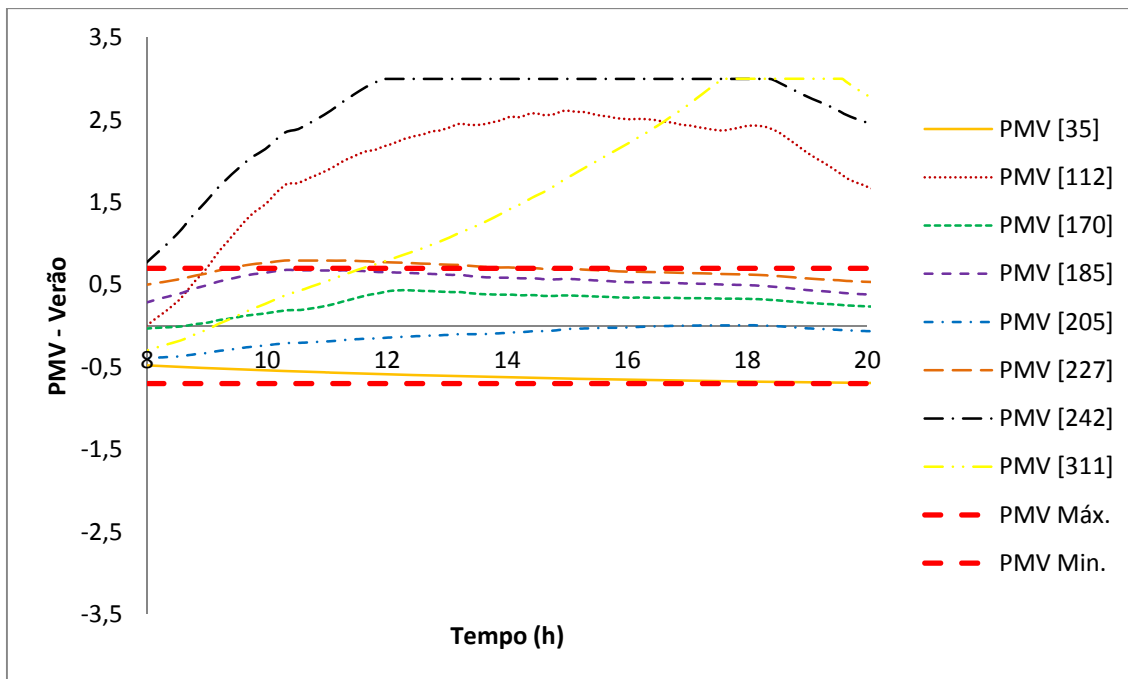


Figura 15: Representação gráfica da evolução da votação média previsível (índice PMV) ao longo de um dia de Verão, de vários compartimentos de diferentes pisos do edifício em estudo.

Ao observar a figura 15 constata-se que o melhor local para se estar no Verão deverá ser a sala de biorreagentes (205), de seguida por ordem decrescente de conforto térmico, a sala de professores (170), a sala de aulas do primeiro andar (185), o auditório da cave (35) e o gabinete de professores (227), enquanto que os mais desconfortáveis seriam a sala de aula (311), o refeitório/bar (112) e a sala de desenho no último andar (242). De notar que um dos compartimentos mais desconfortáveis, por volta hora de almoço, vai ser aquele que terá mais afluência nessas mesmas horas: trata-se do refeitório (112) durante a hora de almoço (12-14h).

Após a análise das figuras 12, 13, 14, e 15, propõem-se várias medidas para resolver, de uma forma pouco dispendiosa, os ganhos térmicos com o objectivo último de atingir o conforto térmico dos ocupantes em cada uma das divisões.

O único compartimento analisado que não tem janelas nem paredes em contacto com o exterior é o **auditório da cave (35)**, que por essa razão, apesar de ser minimamente confortável, propõe-se apenas alguma ventilação natural de forma a promover condições aceitáveis de qualidade do ar aos seus ocupantes.

De notar que um dos compartimentos mais desconfortáveis, por volta hora de almoço, vai ser **refeitório/bar (112)**. Este compartimento vai ser frio no Inverno e quente no Verão, precisamente a tendência contrária que se gostaria de possuir. Para este caso propõe-se também soluções de sombreamento mas recorrendo a árvores de folha caduca que permitam a passagem de sol durante o Inverno (sem folhas) e o sombreamento no Verão (na zona mais a Sul do bar, principalmente). A zona circundante tem bastante espaço para tal e viria embelezar todo o átrio. Já para o

aquecimento no Inverno propõe-se a instalação de colectores solares para aquecer a água que se faria circular em tubagens naquele espaço.

A **sala de professores (170)**, situada no primeiro andar com vista para o átrio, necessitaria de instalação de lamelas sombreadoras (reguláveis manualmente), porque à semelhança do compartimento 242, mas não de uma forma tão acentuada, também aquece demais tanto no Inverno como no Verão, por se encontrar a receber luz directa (radiação solar) nas suas janelas.

Quando se refere à **sala de biorreagentes (205)** nota-se que apesar de ser um pouco desconfortável no Inverno, é bastante confortável no Verão. Os biorreagentes têm boas condições térmicas de armazenamento.

Relativamente à **sala de aula do primeiro andar (185)** e o **gabinete de professores (227)**, não foi detectada nenhum pico de temperatura digno de correcção, portanto será deixar como estão, concentrando as nossas atenções naqueles que são prioridade.

Apesar de durante o Verão não haver uma grande afluência de alunos nem professores na universidade do Algarve, tal facto não invalida que se proponham medidas para a correcção térmica através da diminuição dos ganhos térmicos por radiação solar directa no que diz respeito à **sala de desenho de Arquitectura Paisagista (242)**, que segundo esta análise constatou-se ser a divisão mais desconfortável tanto no Verão como no Inverno atingindo temperaturas um pouco acima dos 35°C, segundo o modelo. O que se propõe para este caso, e tendo em conta a situação financeira nacional, será apostar no sombreamento (pode-se observar que funciona bastante bem noutras divisões do edifício) por exemplo através da instalação de lamelas reguláveis manualmente e da instalação de grelhas de ventilação natural duas no topo das paredes exteriores e outras duas na base (reguláveis), de maneira a promover as trocas de calor com o exterior para contribuir para a diminuição da temperatura do ar no interior e contribuir para uma melhoria significativa do conforto térmico dos seus ocupantes.

Relativamente às **salas de aulas (anfiteatro, compartimento 311)** virada para o átrio é confortável no Inverno, porque tem o sombreamento da fachada Sul do edifício e o sol está mais baixo, mas não no Verão que pelo facto do sol estar mais alto os seus raios passam por cima daquela fachada Sul aquecendo demasiado a divisão do terceiro andar. Como em princípio no Verão não haverão aulas, caso o orçamento para estas implementações seja baixo, o sombreamento ou a ventilação natural poderão ficar para outras divisões, porque esta sala não será uma prioridade.

6. Conclusão

Ao longo deste trabalho realizaram-se simulações tanto em condições de Inverno como de Verão com o objectivo de avaliar a resposta térmica do edifício às variações do meio que o envolve, directa ou indirectamente, e sugerir alterações que possam vir a ser implementadas no local.

Após estas propostas, um trabalho a realizar seria a sua implementação no software de simulação numérica para aferir se seriam medidas suficientes para corrigir o desconforto térmico sentido em cada uma das divisões, ou se teria de propor outras medidas inovadoras.

A utilização do MNTBT não invalida nem desprestigia em momento algum a medição no local da variação da temperatura do ar, bem como da incidência da radiação solar através das janelas, com a grande vantagem de se poder vir a comparar os dados reais com os simulados, uma excelente medida para calibrar e melhorar o programa de simulação numérica de edifícios, corrigindo qualquer desfasamento que eventualmente ainda possa existir.

Em trabalhos futuros dever-se-á ter em conta a ocupação de cada divisão de maneira a aferir necessidades de ventilação para melhoria da QAI.

Um dos grandes temas da actualidade é, sem dúvida, o da eficiência energética, razão pela qual empresas e Governos de todo o mundo desdobram-se em avisos e recomendações para tentar poupar o máximo de energia, poupando também bastantes recursos financeiros e reduzindo as emissões de gases com efeito de estufa. À semelhança das empresas que colocam avisos nas suas instalações em locais estratégicos para sensibilizar os seus trabalhadores para a poupança energética, também a Universidade do Algarve deveria fazer o mesmo para sensibilizar professores, alunos e funcionários para a importância deste comportamento.

Uma das conclusões a que se chega é a importância do sombreamento a Sul do complexo recorrendo a estruturas externas e envolventes, à semelhança de Conceição *et al* (2007a) e Lopes (2008) ao qual se verificou que o modelo numérico simula com aproximações muito boas o comportamento da evolução da temperatura nos compartimentos. As estruturas externas que se propõe são árvores de grande porte a Sul do estabelecimento, de modo a proteger/resguardar os espaços mais problemáticos.

Outras soluções possíveis, mas mais dispendiosas, poderão passar por uma ventilação forçada de ar nos compartimentos segundo Conceição *et al* (2003) e Conceição *et al* (2008b, 2008c), não obstante cobrir todo o telhado com painéis fotovoltaicos, o que provocaria um óptimo sombreamento a todo o telhado (aproximadamente cerca de 1500 m²), produzindo energia eléctrica para as faculdades. Este investimento prevê-se que seria pago em dez anos, vendendo a energia à EDP (6x mais cara nos primeiros anos) e pagando apenas a consumida, recorrendo à mais recente legislação de Minigeração.

De forma a atingir maiores eficiências energéticas dos compartimentos é imperativo limitar a entrada de luz directa no seu interior no caso do Verão (arrefecimento), não obstante maximizar a mesma no Inverno (aquecimento). O resultado deste comportamento será a diminuição da factura de energia (logo menores emissões indirectas de CO₂ para a atmosfera, menor consumo, menor produção de energia), e um aumento do conforto térmico que implica um aumento de qualidade de vida.

O **design sustentável de um edifício** deverá ter em conta o futuro estado do ambiente e para obter uma maior eficiência a nível de consumo energético torna-se necessário a aplicação de quatro princípios básicos, nomeadamente, controlar os ganhos térmicos internos através do sombreamento (Lopes, 2008); usar a massa térmica do edifício distribuindo os ganhos de energia pelas várias divisões ou compartimentos de modo a reduzir o pico de temperatura; usar uma estratégia bem definida de arrefecimento (Conceição *et al*, 2007), por exemplo usando a frescura da noite para arrefecer o edifício; apenas fazer uso do ar condicionado se estritamente necessário, por exemplo traves ou telhados arrefecidos conseguem limitar os picos de temperaturas, tornando o processo eficiente e sustentável (Olesen, 2002).

No seguimento deste trabalho torna-se imperativo efectuar novas simulações considerando as lamelas existentes no edifício.

Referências Bibliográficas:

- Abrantes P. (2009). **Avaliação Numérica e comparação das Condições de Conforto Térmico dum Jardim de Infância com uma Biblioteca com Tipologia Simples – Energia e Conforto em grandes espaços**. Plano de Tese 2.º Ciclo em Engenharia do Ambiente, UAlg – FCMA, Janeiro de 2009.
- Abrantes P. (2010). **Avaliação Numérica das Condições de Conforto Térmico e Qualidade do Ar Interior na Escola Jardim de Infância E.B. N.º 1 da Chasfa em Olhão com Topologia Complexa**. Projecto do 2º Ciclo de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, UAlg – FCT, Janeiro de 2010.
- Aluclu I., A. Dalgic (2005). **A Case study on natural ventilation characteristics of the Diyarbakir, Surici (Old City) Municipality Building in Turkey**. Engineering and Architectural Faculty, Dicle University, Diyarbakir, Turkey, Elsevier – Building and Environment, volume 40, 2005, aceite a 23 de Novembro de 2004, pg. 1441-1449.
- American Lung Association (2005). **State of the Air**. 28 de Abril de 2005. Disponível em http://lungaction.org/reports/sota05_heffects3a.html.
- ASHRAE (1999). **ASHRAE Handbook – HVAC applications, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers**. Inc. Atlanta. (*in* Yang *et al*, 2008)
- ASHRAE (2004). **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. ANSI/ASHRAE Standard 62.1, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc (*in* Conceição *et al*, 2008b).
- Berne R. M., Levy M. N., Koeppe B., Stanton B. A. (1998). **Physiology**. St. Louis, Missouri: Mosby Publishers, Fourth edition, pg. 519 (*in* Curtis *et al* 2006).
- CCR-Algarve (1984). **Caracterização Esquemática da Reserva da Ria Formosa**. Documento de Trabalho, Ministério da Administração Interna, Comissão de Coordenação da Região do Algarve, Faro, 17 pg.
- CCR-Algarve (1998). **Os Municípios do Algarve**. Instituto Nacional de Estatística, Portugal, Comissão de Coordenação da Região do Algarve.
- Cohen A. J., Ross Alexander H., Ostro B., Pandey K. D., Kryzanowski M., Kunzail N., *et al* (2005). **The global burden of disease due to outdoor air pollution**. J. Toxicol Environmental Health A., volume 68, pg. 1-7 (*in* Curtis *et al* 2006).
- Conceição E. (2003). **Numerical Simulation of Building Thermal Behavior and Human Thermal Comfort Multi-Node Models**. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve, *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands, 11 a 14 de Agosto de 2003.

- Conceição E., M. Lúcio (2006a). **Numerical Study of Thermal Response of School Buildings in Summer Conditions**. Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisboa - Portugal.
- Conceição E., M. Lúcio, T. Capela, A. Brito (2006b). **Evaluation of Thermal Comfort in Slightly Warm Ventilated Spaces in Non-Uniform Environments**. International Journal on Heating Air Conditioning and Refrigerating Research, ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., EUA, volume 12, Nº 3, Julho de 2006, pg. 451-458.
- Conceição E., M. Lúcio (2007). **Conforto em Espaços Climatizados de Edifícios Escolares: Parte I - Conforto Térmico e Desconforto Térmico Local**. Revista O Instalador, N.º 139, Novembro de 2007, pg. 46-53.
- Conceição E., M. Lopes, M. Lúcio (2008a). **Application of an Indoor Greenhouse in the Energy and Thermal Comfort Performance in a Kindergarten School Building in the South of Portugal in Winter Conditions**. WSEAS Transactions on Environment and Development, Issue 8, Volume 4, Agosto de 2008, pg. 644-654.
- Conceição E., M. Lúcio (2008b). **Projecto de um Sistema de Ventilação Eficiente de um Edifício Escolar em Condições de Inverno na Região do Algarve**. Revista INGENIUM, IIª Série, Ordem dos Engenheiros, Nº 107, Setembro/Outubro de 2008, pg. 76-80.
- Conceição E., A. Custódio, M.ª Meira, R. Andrade, S. Rosa, A. Teixeira, M. Pragana, M. Lopes (2008c). **Conforto e Energia num Complexo Pedagógico de um Campus Universitário em condições de Inverno**. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve.
- Conceição E., M. Lúcio (2008d). **Thermal study of school buildings in winter conditions**. Building and Environment, volume 43, 2008, Maio de 2008, pg. 782-792.
- Curtis L., W. Rea, P. Smith-Willis, E. Fenyves, Y. Pan (2006). **Adverse health effects of outdoor air pollutants**. Environment International, volume 32, Agosto de 2006, pg. 815-830.
- Decreto-Lei n.º 79 (2006). **Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)**. Diário da República, I Série - A, N. 67, 4 de Abril (*in* Conceição *et al*, 2008b).
- Despacho n.º 14724/2009. **Calendário Escolar**. Diário da República, 2.ª série — N.º 125 - 1 de Julho de 2009
- Fanger P. (1970). **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York, McGraw-Hill Book Company (*in* Conceição *et al* 2008c).
- Faria F., S. Santos, L. Lima, M. Kobayashi (2009). **Turno de rega da irrigação suplementar para estabelecimento de citros no semiárido mineiro**. Magistra, Cruz da Almas-BA, volume 21, número 1, Janeiro/Março 2009, pg. 65-72.

- Fonseca F. E. (2007). **Convergência entre a proteção ambiental e a proteção da pessoa humana no âmbito do direito internacional**. Revista Brasileira de Política Internacional, volume 50, pg. 121-138.
- Geros V., M. Santamouris, A. Tsangasoulis, G. Guarracino (1999). **Experimental evaluation of night ventilation phenomena**. Energy and Buildings, volume 29, pg. 141-154.
- Gonçalves H., J. M. Graça (2004). **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. DGGE. Lisboa, Novembro. ISBN Nº. 972-8268-34-3 (*in* Pragana, 2004).
- Guyer E., Brownell D. (1999). **Handbook of Applied Thermal Design**. Taylor & Francis, Philadelphia, USA, 1999 (*in* Conceição 2003).
- Häupl P., J. Grunewald, H. Fechner, H. Stopp (1997). **Coupled heat air and moisture transfer in building structures**. International Journal of Heat and Mass Transfer, volume 40, Maio de 1997, pg. 1633-1642.
- Holmes M. J., J. N. Hacker (2007). **Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century**. Energy and Buildings, volume 39, pg. 802-814.
- Jedrychowski W., U. Maugeri, I. Jedrychowska-Bianchi (2002). **Body Growth Rate in Preadolescent Children and Outdoor Air Quality**. Environmental Research, volume 90, Setembro de 2002, pg. 12-20.
- Jeong J., S. Mumma (2003). **Ceiling radiant cooling panel capacity enhanced by mixed convection in mechanically ventilated spaces**. Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, USA, Applied Thermal Engineering, volume 23, pg. 2293-2306.
- Junior P. J., S. Bumer (2006). **Comportamento de dezassete seleções de Trifoliata como porta-enxertos para laranjeiras Valência**. Volume 27, número 2, pg. 287-295, 2006.
- Kurazumia Y., T. Tsuchikawab, N. Matsubarac, T. Horikoshid (2008). **Effect of posture on the heat transfer areas of the human body**. Building and Environment, volume 43, pg. 1555–1565.
- La Roche P., M. Milne (2004). **Effects of window size and thermal mass on comfort using an intelligent ventilation controller**. Solar Energy, volume 77, pg. 421-434.
- Lopes M. (2007). **Manual Prático: Implementação de Edifícios 3D do Programa Multi-Node Building Thermal Behavior**. Anexo do Projecto Tecnológico da Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Gambelas, Faro.
- Lopes M. (2008). **Avaliação Numérica das Condições de Conforto Térmico em Estabelecimentos de ensino com Tipologia Complexa**. Mestrado 2.º Ciclo em Engenharia do Ambiente, Plano de Tese, Universidade do Algarve. Gambelas, Faro Junho de 2008.

- Odivelas C. M. (2007). **Regulamento de Espaços Verdes, Parques e Jardins**. Boletim Municipal de Deliberações e Decisões. Ano VIII, número 4, 13 de Março de 2007, pg. 1-8.
- Olesen B. (2002). **Radiant Floor Heating In Theory and Practice**. ASHRAE Journal American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Julho 2002, pg. 19-24.
- Pragana M., A. Teixeira (2007). **Simulação do comportamento térmico de edifícios escolares na região do Algarve: Estudo preliminar**. Universidade do Algarve, no âmbito da disciplina de Projecto Tecnológico da Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Maio de 2007.
- Procesl, Ecosystema, Chiron (1999). **Estudo Ambiental do Projecto "Requalificação do Sistema Lagunar da Ria Formosa"**. Relatório de Caracterização da Situação de Referência. Instituto de Conservação da Natureza, Parque Natural da Ria Formosa, 223 pg.
- Reitoria, Gabinete de Relações Exteriores, Conselhos Directivos das Unidades Orgânicas da UAlg, Associações de Estudantes, Secção Académica de Imprensa da UAlg (1997-1998 e 1999). **Universidade do Algarve – Anuário**. Empresa Litográfica do Sul, S.A, Depósito Legal 116769/97.
- Riley J., P. Thomson (1997). **Olive, Olea Europaea**. CRFG Publications, California Rare Fruit Growers, Inc., 1997.
- Samuel A., P. Strachan (2006). **An Integrated Approach to Indoor Contaminant Modeling**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. HVAC&R Research Special Issue, volume 12, NUMBER 3, Julho de 2006, pg. 599-619.
- Universidade do Algarve – Anuário (1991 e 1992). Serviços Gráficos da UAL/IPF.
- Universidade do Algarve – Anuário (1992 e 1993). Serviços Gráficos da UAlg.
- Wagner A., E. Gossauer, C. Moosmann, T. Gropp, R. Leonhart (2007). **Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – Results of field studies in German low energy office buildings**. Energy and Buildings, volume 39, pg. 758-769.
- Wikidot (2007). **Universidade do Algarve**. Sítio da Memória Portuguesa – Terras de Portugal, <http://terrasdeportugal.wikidot.com/universidade-do-algarve>.
- Wisse J. (1994). **Driving rain, a numerical study**. In *Presentation of the ninth Symposium for Building Physics and Building Climatology*, Dresden, 14 a 16 de Setembro de 1994. (in Häupl et al, 1997)
- Yam J., Y. Li, Z. Zheng (2003). **Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings**. International Journal of Heat and Mass Transfer, volume 46, pg. 1251-1264.

Yang L., Y. Li (2008). **Cooling Load Reduction by Using Thermal Mass and Night Ventilation**. Energy and Buildings (2007), doi:10.1016/j.enbuild. 14 de Maio de 2008, pg.1-22.

Zhou J., G. Zhang, Y. Lin, Y. Li (2008). **Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings**. Energy and Buildings, volume 40, pg. 979-986.

Gonçalves, H., Graça, J. M. – “Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal”. DGGE. Lisboa, Novembro 2004. ISBN Nº. 972-8268-34-3.