

IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE OPTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA

Este Capítulo pretende demonstrar a influência que a redução do peso dos materiais de construção e dos sistemas construtivos pode ter na construção de edifícios mais sustentáveis, se se puderem salvaguardar os aspectos de segurança (estrutural e resistência ao fogo) e muito especialmente o desempenho térmico e acústico. Para levar a cabo essa demonstração, foram concebidas três Células de Teste que serviram para a realização de diversos ensaios experimentais. São também apresentados alguns estudos prévios que serviram de base para a definição da morfologia das Células de Teste e dos ensaios a realizar nestas. Foi feita uma primeira abordagem conceptual sobre a influência da compartimentação, no conforto em edifícios de habitação. Foram mais detalhadamente estudados os sistemas de fachada, sob os pontos de vista ambiental, conforto e custo económico. São finalmente apresentados os resultados dos ensaios de desempenho de conforto efectuados nas células de teste, que demonstram a viabilidade das soluções de peso misto relativamente às soluções convencionais, o que constituía o objectivo central a que se propunha este trabalho de investigação.

6.1. Tipologia arquitectónica e zonamento

Complementarmente à pesquisa baseada nas propriedades físicas dos materiais, também a pesquisa baseada nos conceitos arquitectónicos pode conduzir à redução do impacto ambiental da construção.

6.1.1. Estratégias

Existem várias estratégias arquitectónicas que podem ter influência na optimização energética dos edifícios, dentre as quais se destacam as que visam o conforto de utilização e a redução dos impactes de obra, que já foram referidas nos capítulos anteriores e que se resumem seguidamente:

a) Estratégias Solares passivas adequadas a Climas Temperados:

- Em zonas rurais ou de ecossistemas frágeis, minimizar o contacto do edifício com o solo, no sentido de reduzir a interferência com os ecossistemas existentes;
- Utilizar espaços tampão, por exemplo através de zonas técnicas e de serviço, para proteger o espaço habitado em relação aos ganhos solares e perdas não desejados, bem como aos ruídos;
- Estudar as organizações espaciais que mais favorecem o conforto térmico interior por uma correcta relação com o ambiente exterior, indo assim ao encontro das necessidades dos utentes, nomeadamente:
 1. Aproveitamento dos ganhos solares passivos: orientação dos captadores a Sul no hemisfério Norte para favorecer a insolação no Inverno e permitir protecção solar no Verão;
 2. Aberturas em fachadas opostas orientadas a Sul e a Norte para permitir a ventilação cruzada no Verão e fachadas cegas a Nascente e Poente, para permitir uma melhor protecção solar no Verão;
 3. Átrios ou pátios interiores para promover a refrigeração passiva e fornecer luz aos espaços interiores no Verão;
 4. Arrefecimento por ventilação natural nocturna ou através de água com sistemas evaporativos;
 5. Construção enterrada, semi-enterrada (em caves) e paredes maciças (restantes pisos) para favorecer a inércia térmica, nas áreas da habitação ocupadas durante a noite;
 6. Utilização de tecnologias activas nas fachadas transparentes ou translúcidas, para compatibilizar a relação entre ganhos solares térmicos e iluminação natural, favorecendo os ganhos nas horas de insolação de Inverno, reduzindo-os nas horas de insolação de Verão e minimizando as perdas nocturnas.

b) Construção de baixo impacte ambiental:

- Utilização de sistemas construtivos estruturais que tenham baixa energia incorporada, por exemplo em madeira ou em metais reciclados e facilmente reutilizáveis – preferentemente

sistemas justapostos e fixos mecanicamente, em vez de aderidos ou compósitos;

- Utilização de elementos construtivos não estruturais pré-fabricados permitindo fácil montagem, flexibilidade interna e optimização das aberturas para a ventilação e iluminação naturais;
- Utilização de materiais locais, especialmente no caso dos materiais pesados necessários para incrementar a massa térmica ou o isolamento sonoro;
- Optimização do peso da construção, utilização mínima de materiais com vista à redução dos custos económicos e ambientais de transporte e de obra.

A aplicação de estratégias dinâmicas, que acompanhem o edifício e os seus ocupantes durante a sua vida útil, permite intervir sempre que as condições de conforto e os custos previstos não se verifiquem. Deverão para isso ser realizadas as seguintes monitorizações nas habitações onde se implementam os sistemas propostos:

- Avaliação do desempenho térmico, de iluminação e do caudal de ventilação;
- Auditorias energéticas: a avaliação dos consumos energéticos dos equipamentos e sistemas utilizados deverá ser feita para determinar a eficiência energética, nomeadamente na iluminação;
- Análise da qualidade do ar: a amostragem da composição do ar na habitação é realizada durante e após a construção para avaliar os níveis de emissão de gases pelos materiais de construção e posteriormente para avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação;
- Análise do ciclo de vida: estudo para avaliar os custos globais durante todo o tempo de vida útil previsto;
- Estudo de ocupação: questionário para avaliar os comportamentos dos ocupantes neste tipo de habitação e diferença relativa a uma habitação convencional.

As soluções não convencionais de habitação, poderão ser difíceis de implementar por questões de resistência cultural, podendo entrar em choque com os hábitos adquiridos. O que se propõe é referenciá-las a partir de soluções já existentes e tradicionais, que muitas vezes apenas se encontram pouco explorados, ou não devidamente optimizados.

A recuperação de soluções vernaculares como por exemplo as alcovas ou a varanda envidraçada, já referidas nos Capítulos III e V, respectivamente, quando integradas no projecto arquitectónico, podem constituir soluções interessantes do ponto de vista do desempenho higrotérmico. A estratégia adoptada neste estudo (varanda envidraçada a Sul e zonamento da habitação) baseou-se nestas soluções, que de alguma forma fazem ou fizeram já parte das soluções arquitectónicas tradicionais, limitando-se neste caso a adaptá-las, melhorá-las ou reorganizá-las com vista à optimização do desempenho energético.

6.1.2. Um módulo de casa solar passiva de peso misto: aplicação dos sistemas a investigar em Células de Teste

O incremento da densidade de construção, fenómeno especialmente verificado em zonas urbanas, implica normalmente um aumento da percentagem dos componentes industrializados e mais transformados e uma maior dificuldade em recorrer aos métodos construtivos artesanais, pelo que a estratégia de redução aqui proposta se torna mais difícil. Não é viável produzir localmente a maior parte dos materiais construtivos industrializados, como por exemplo o aço, o cimento, o vidro ou a cerâmica. Nestes casos, a redução do peso ou a troca por materiais alternativos, de menor densidade, poderá ser mais difícil, pelo que as estratégias que se propõem são essencialmente aplicáveis a pequenas construções, até 3 a 5 pisos de altura, que constituem a maior parte do parque habitacional em Portugal, especialmente em zonas que não os centros das duas grandes cidades, Porto e Lisboa, ou as suas cidades dormitório.

As construções de habitação, em climas temperados do Sul da Europa, são geralmente pesadas, no que diz respeito à estrutura e aos materiais utilizados. Na estrutura e nas paredes exteriores são utilizados betão, tijolo ou pedra, de forma a obter resistência estrutural e inércia térmica. Quando materiais pesados pouco transformados (pedra ou adobe por exemplo) e mão-de-obra estão localmente disponíveis, o custo ambiental da construção é reduzido, mas o aumento da massa global do edifício pode implicar outros problemas, como um custo económico elevado, resultante duma mão-de-obra intensiva. A pesquisa tecnológica sobre sistemas construtivos pesados tem sido abandonada, já que a sua utilização só se torna viável em certos locais específicos, onde a sua aplicação faz parte duma herança cultural e existe disponibilidade de mão-de-obra e matérias-primas.

Pretende-se defender em paralelo a redução do peso da construção, que normalmente vem associada à maior industrialização, mas não deixando de lado, apesar de parecer contraditório, a recuperação dos sistemas construtivos pesados, de mão de obra intensiva, como as alvenarias de pedra e adobe, desde que disponíveis localmente. A grande massa que estes materiais implicam poderá ser aproveitada duma forma mais otimizada do que vulgarmente se faz, colocando-a unicamente pelo interior dos materiais de isolamento e em zonas da habitação que necessitem maior inércia térmica e protecção acústica. Deste modo, é proposta uma solução do tipo MBT (Mixed Building Technology), onde se mistura um sistema construtivo pesado com um ligeiro.

A estratégia de optimização energética com um sistema MBT, incide principalmente sobre:

- **Optimização da orientação e desenho de fachadas:** convencionalmente, as fachadas exteriores dum edifício de habitação são entendidas como “barreiras”, que separam o interior do exterior, com zonas bem definidas de aberturas, as janelas. Segundo Bradshaw, a necessidade de economizar

energia, trouxe uma reavaliação do papel da envolvente, sendo esta cada vez mais concebida como fronteira dinâmica, interagindo quer com as condicionantes naturais exteriores, quer com o ambiente interior do edifício (Bradshaw 1993). Diferentes temperaturas radiantes das superfícies envolventes poderão ser causa de desconforto. A homogeneidade da envolvente exterior, em termos de temperatura radiante e iluminação implica um melhor controle do conforto térmico e de iluminação natural para todos os pontos onde possa haver ocupantes. Ainda que um sistema de ganho solar passivo directo seja teoricamente mais eficiente, na prática quase nunca permite uma boa gestão dos ganhos. Este facto deve-se a vários aspectos, tais como: ao desconforto com as assimetrias de temperaturas radiantes, que impulsionam o ocupante a fechar os estores ou outros sistemas de oclusão e assim reduzir os ganhos; ao facto dos ocupantes, mesmo que não estejam em casa, poderem não deixar os estores abertos, por questões de segurança, de protecção ao mobiliário e outros objectos; ou mesmo por ignorância e insensibilidade no que respeita ao aproveitamento dos ganhos solares. A utilização de sistemas de ganho indirecto poderá ser mais eficiente, ainda que teoricamente os ganhos úteis não sejam tão elevados como num sistema directo. Os sistemas de ganho indirecto permitem a obtenção de níveis de conforto num grau mais próximo ao estimado, especialmente quando se pretendem compatibilizar todos os aspectos em jogo, nomeadamente: iluminação natural, desempenho higratérmico e acústico. Um problema é que a construção de paredes interiores entre a janela e as zonas ocupadas vão limitar a iluminação natural. A necessidade de uma grande superfície de envidraçados orientados a Sul e com grande parte da sua área fechada por paredes de armazenamento térmico, implica que o edifício se abra mais a outras orientações solares. Na solução proposta, as áreas de trabalho dos quartos (escritório e estudo), a cozinha e a área de comer da sala comum recebem luz através de fachada de isolamento translúcido orientada a Norte;

- **Estratégia de zonamento:** está directamente ligada com a estratégia de optimização das fachadas referida anteriormente e assenta no princípio de criação de um espaço de maior inércia térmica, rodeado de espaços tampão, como se pode ver na solução proposta da Figura 6.1.1. Desta forma propõe-se que a Sul, o espaço tampão seja também uma fonte de ganhos solares passivos, neste caso predominantemente indirectos, através duma parede Trombe ou duma Estufa adossada. A Norte o espaço tampão engloba as zonas de trabalho: zonas de estudo e lazer dos quartos, zona de comer e cozinha. O espaço central, onde se localizam as zonas mais abrigadas, é construído com uma envolvente pesada e alberga as zonas mais íntimas da casa, destinadas ao descanso, como quartos e sala de estar, além do quarto de banho, neste caso por questões construtivas e isolamento acústico. Como a laje de pavimento e as paredes pesadas podem ter o papel de armazenamento térmico, a estratégia foi posicioná-las exclusivamente neste núcleo interior da

habitação e os isolamentos o mais próximo possível da face exterior das paredes exteriores. Desta forma a habitação proposta tem dois sistemas construtivos, pesado no núcleo e leve nas zonas de espaço tampão. Os materiais de toda a pele exterior são leves, com uma grande espessura de isolamento, especialmente nas zonas sem massa de armazenamento térmico. A estrutura da zona leve poderá ser metálica ou em madeira, consoante o número de pisos e necessidades específicas da construção. No núcleo pesado, como se pode ver na Figura 6.1.2, propôs-se a utilização de betão armado na estrutura, por uma questão de adequação aos sistemas convencionais de construção, ainda que também seja possível e mesmo preferível a utilização de estruturas metálicas ou madeira, que têm maiores vantagens no aspecto da redução do impacte ambiental e possibilidades de reciclagem. Uma estrutura de betão armado neste núcleo pesado, ainda que apresente valores de desempenho energético apenas com um grau de optimização intermédio, constitui uma solução facilmente exequível e com potencialidades para ser implementada efectivamente, já que não pressupõe uma alteração demasiado radical dos sistemas construtivos convencionais. Podem assim utilizar-se os materiais industrializados e mão-de-obra comuns à indústria da construção portuguesa actual.

O caso de estudo proposto não pretende constituir uma estratégia isolada de construção sustentável, mas antes um conjunto de estratégias que podem ser usadas no todo ou em parte para minimizar os impactes ambientais. A intervenção assenta sobre: a redução dos consumos energéticos da obra e da energia incorporada dos materiais, tendo em vista os ciclos de vida dos materiais; utilização de tecnologias solares passivas para a manutenção do conforto.

A solução proposta (com zonamento) e de referência (sem zonamento e baseada numa construção portuguesa convencional de habitação económica) serviram de base às Células de Edifício Teste 1 e 2, marcadas na Figura 6.1.1, que serão descritas detalhadamente na secção 6.2.1.2 do presente capítulo.

O desenvolvimento desta demonstração de tipologias arquitectónicas numa Célula de Teste real permite a monitorização e demonstração do seu desempenho efectivos. Desta forma, espera-se que o resultado desta pesquisa possa fornecer dados aos projectistas e aos usuários para promover a aceitação de sistemas de menor impacte ambiental e que este estudo venha ao encontro das necessidades práticas da construção de habitação em Portugal.

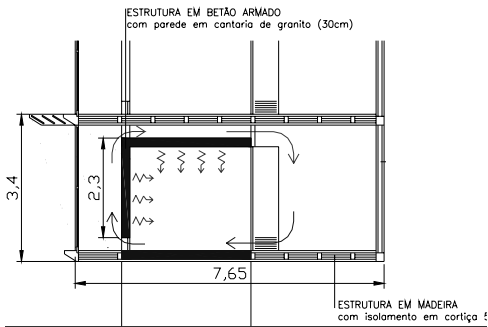
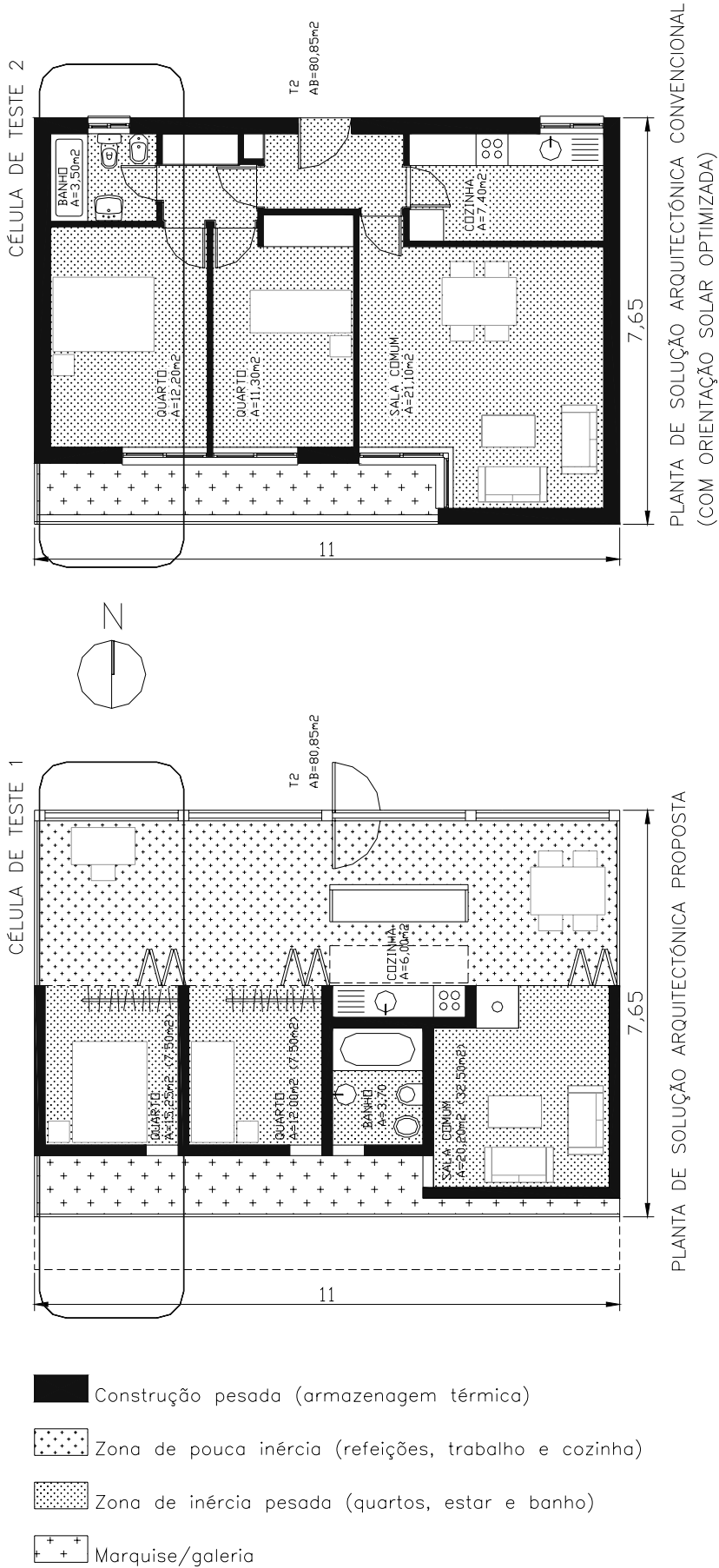


Figura 6.1.2. Secção da habitação com estufa adossada a Sul e fachada de isolamento translúcido a Norte

Figura 6.1.1. Solução arquitectónica solar passiva convencional de referência e solução proposta

6.2. Análise experimental em Células de Teste

Existem basicamente duas razões que tornam necessário o conhecimento das propriedades higrotérmicas dos sistemas construtivos, correspondendo às formas directa e inversa da análise experimental, respectivamente (Blanco et al 2000):

1. Na hora de prever o desempenho energético (cargas de aquecimento / arrefecimento, temperaturas interiores, índices de conforto, etc.) de um edifício, mediante modelos de simulação, necessitam-se como dados de entrada, tanto as variáveis meteorológicas que actuam sobre o edifício ou componentes deste, como certas características intrínsecas do mesmo, entre as quais se encontram algumas propriedades físicas (forma directa);
2. Existem procedimentos de cálculo que permitem quantificar e descrever, a partir de dados adquiridos em ensaios específicos, o desempenho real dos edifícios ou componentes, para desta forma estabelecer qual deles resulta mais eficiente energeticamente (forma inversa).

A metodologia que se pretendeu seguir no estabelecimento dos critérios a adoptar para a realização de Células de Teste teve como base a primeira forma de análise experimental descrita anteriormente. Esta corresponde, quer ao estudo prévio efectuado para a construção do módulo de habitação optimizado sob o ponto de vista energético, quer aos ensaios experimentais efectuados em Células de Teste. A segunda forma foi utilizada apenas para validar os resultados obtidos e estabelecer critérios de intervenção posterior.

Apesar das vantagens sobre os resultados em conforto térmico e poupança de energia dadas pelo conhecimento energético dos componentes obtido da experimentação, a informação sobre estes aspectos fornecida pelos fabricantes ou disponível em bibliografia costuma ser limitada e a sua aplicação em alguns casos, difícil, pois está referida a propriedades isoladas determinadas em condições muito específicas, podendo existir inclusivamente uma grande variação para elementos do mesmo tipo.

Existem diferentes possibilidades de classificar os ensaios para a determinação das propriedades termo-energéticas dos componentes. Poderia estabelecer-se uma classificação atendendo aos processos que intervêm no funcionamento dos componentes durante o ensaio. Por exemplo processos ligados ao clima, como os ganhos solares, estudam-se de forma distinta aos processos interzona, independentes do ambiente exterior. Além do ensaio isolado dos componentes, podem igualmente testar-se estes em conjunto, integrados em sistemas construtivos ou nos próprios edifícios, chamados neste caso de edifícios teste, já que resulta mais difícil e falível avaliar em termos de modelos de previsão certas soluções em que diversos factores entram em jogo.

Na Tabela 6.2.1 sintetizam-se as diferentes abordagens normalmente aceites no ensaio de soluções construtivas em termos térmicos, bem como as suas vantagens e inconvenientes.

Tabela 6.2.1. Classificação dos ensaios de sistemas e materiais construtivos

	Condições	Controlo	Exactidão	Vantagens	Inconvenientes
Edifício habitado	Reais	Nulo	Relativa	- Aplicação imediata - Nível de conforto	- Aleatoriedade nas solicitações
Edifício teste	Reais	Médio	Relativa	- Situação real	- Incertidão nos materiais
Célula de Teste	Reais	Elevado	Boa	- Condições reais - Controlo nas solicitações	- Aplicação de resultados
Ensaio em laboratório	Laboratório	Muito elevado	Muito boa	- Elevado grau de exactidão	- Aplicação prática - Condições não reais

Fonte: (Blanco et al 2000)

É susceptível de ensaio qualquer material utilizado de forma isolada ou combinada nos paramentos envolventes exteriores ou no interior de um edifício, tanto estrutural como não estrutural. Para que os resultados de um ensaio tenham utilidade no âmbito da concepção, o componente em questão deve reunir as seguintes características (Blanco et al 2000):

- A sua aplicação deve produzir um efeito significativo no comportamento energético do edifício (condições de conforto, poupança energética, etc.);
- Devem ser produtos standardizados e comercialmente disponíveis ou susceptíveis disso no caso de protótipos;
- Deve ser garantida a conservação das suas propriedades físicas em toda a produção;
- As propriedades devem conservar-se, na medida do possível, durante um período de tempo suficientemente longo e em condições normais de uso.

Uma Célula de Teste pode ser definida como um dispositivo em escala real, normalmente monozona, onde, na sua envolvente exterior ou mesmo no interior, podem ser instalados elementos construtivos a ser submetidos a condições reais de ensaio, com o fim de avaliar o desempenho dos mesmos.

Para poder afirmar que a informação obtida é própria do elemento ensaiado é necessário isolar o comportamento da Célula de Teste. Portanto, a primeira condição duma Célula de Teste de desempenho térmico é geralmente um elevado grau de isolamento térmico da envolvente não ocupada pelo componente a ensaiar.

Outra premissa importante duma Célula de Teste é a versatilidade no ensaio, ou seja, a capacidade de alojar diferentes componentes de diversos tipos para serem submetidos a diferentes estratégias de ensaio em função da característica que se pretende avaliar. O uso de Células de Teste é caracterizado pelos seguintes aspectos (Blanco et al 2000):

- A escala real é importante para reproduzir processos complexos, tais como os ganhos solares nos edifícios. Por outro lado a escala real permite reproduzir as dimensões normais de utilização dos elementos construtivos;
- Durante os ensaios, os ganhos e perdas incontroladas, devidos à ocupação, não estão presentes. O inconveniente, neste caso, é determinar o nível de conforto a partir dos dados físicos brutos;
- Os ensaios de laboratório estão orientados a processos: condução, radiação e convecção, que raramente se apresentam isoladamente. Por outro lado existem processos de importância crucial no desempenho térmico de um edifício tais como a convecção e os ganhos por radiação difusa muito difíceis de serem simulados em laboratório;
- A caracterização do instrumento proposto permite a repetição dos mesmos estudos ou mesmo a previsão em diferentes locais, o que permite economizar tempo e custos.

6.2.1. Célula Passys

Dentre os estudos realizados com Células de Teste, aquele que mais divulgação teve a nível europeu foi o Projecto Europeu Passys, cujas Células tipo foram reproduzidas em vários países, dentre os quais Portugal (Maldonado e Afonso 1994). O compartimento de ensaio neste tipo de célula encontrava-se limitado por paredes de poliestireno expandido de 40cm de espessura. As dimensões totais da célula eram de 4m de largura, 8m de comprimento e 4m de altura, sendo as dimensões do compartimento de ensaio de 2,75x4x2,75m. Na fachada Sul encontrava-se uma estrutura isolada para ligação do componente ao resto da célula a fim de evitar, na medida do possível, as perdas por efeito de pontes térmicas. As paredes exteriores estavam revestidas por uma chapa de aço inoxidável e as interiores por outra de aço galvanizado pintado em azul escuro. Estas células encontravam-se normalmente elevadas do solo. Como se pode ver no exemplo da Figura 6.2.1 a Célula encontra-se assente sobre 6 blocos de betão a 50cm do nível do solo. Desta forma evitam-se as trocas de calor e humidade com o solo e assegura-se uma temperatura o mais uniforme possível em todas as superfícies. A descrição dos materiais utilizados, bem como a sua disposição na célula de teste Passys é mostrada na mesma figura.

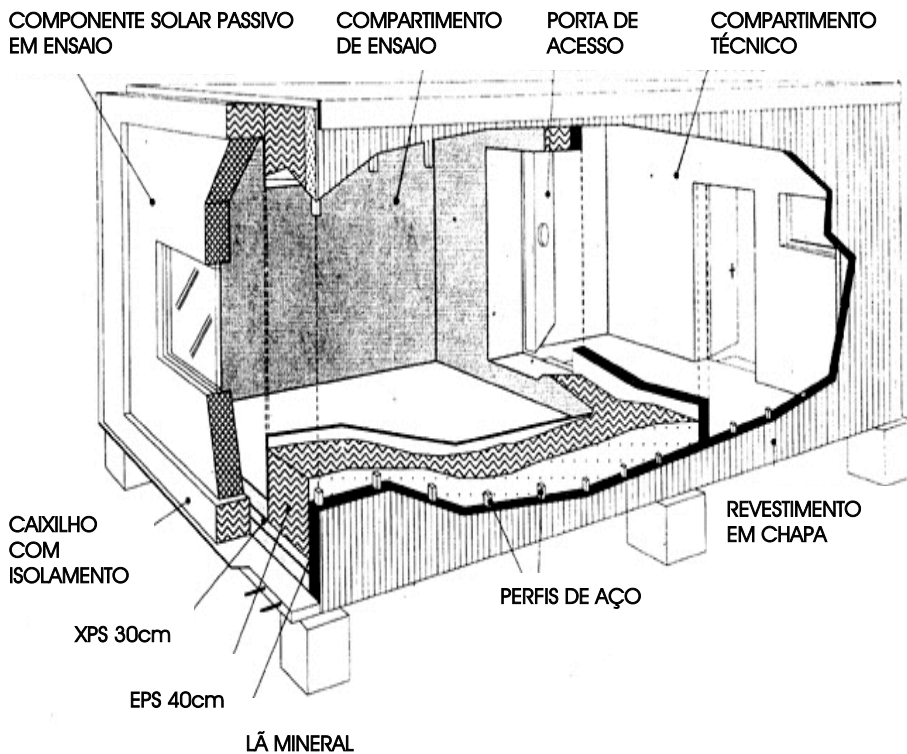


Figura 6.2.1. Célula de Teste Passys (Maldonado e Afonso 1994)

Os graus de isolamento utilizados nas células Passys são, para cada um dos paramentos, os descritos seguidamente (Blanco et al 2000):

- Tecto $0,10\text{W/m}^2\text{°C}$;
- Paredes $0,10\text{W/m}^2\text{°C}$;
- Solo $0,10\text{W/m}^2\text{°C}$;
- Porta interior $0,21\text{W/m}^2\text{°C}$.

A Célula localizada no meio da instalação das Células de Teste de Construções Não Convencionais, seguidamente descritas, assenta numa solução do tipo Passys, com dimensões e níveis de isolamento equivalentes. Pode ver-se o posicionamento desta Célula nas Figuras 6.2.2 e 6.2.3. Esta Célula pretende funcionar como solução de referência (com um grau de inércia térmica muito baixo, equivalente a uma solução leve ou com isolamento interior) em contraponto com as soluções convencional e mista testadas. Pretendeu-se igualmente com a Célula tipo Passys avaliar qual o efeito isolado do sistema de ganhos através de varanda envidraçada a Sul.

6.2.2. Células de Edifício Teste

Um dos principais objectivos a atingir quando se procura testar novas soluções, é estabelecer a comparação destas com as soluções convencionais, avaliando-se de imediato quais as vantagens e inconvenientes técnico-funcionais dumas em relação às outras. Com vista a este estudo comparativo, propôs-se a construção de duas Células Teste em paralelo, que podem ser entendidas na realidade como uma situação intermédia entre Edifício Teste e Célula de Teste, a que se entendeu chamar Células de Edifício Teste – CET. Como já foi referido, estas pretendem

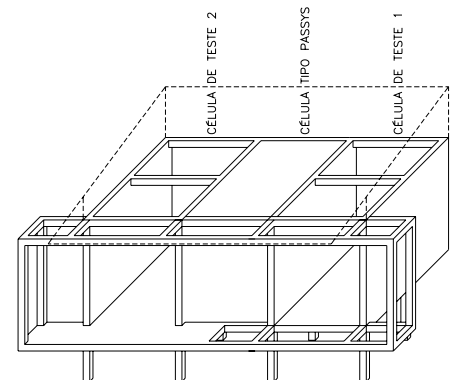


Figura 6.2.2. Axonométrica da instalação das CET

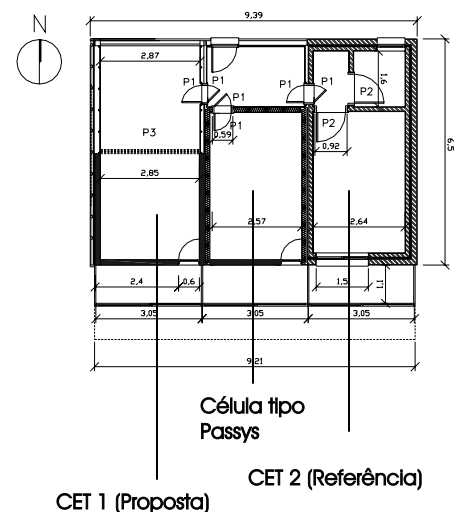
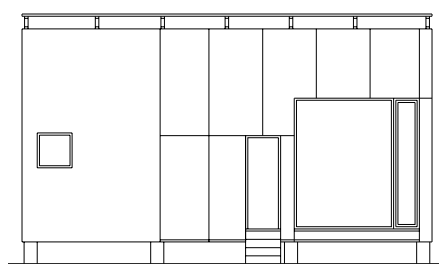
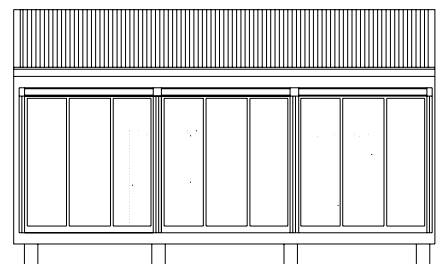


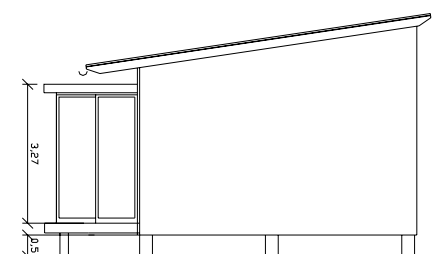
Figura 6.2.3. Planta da instalação



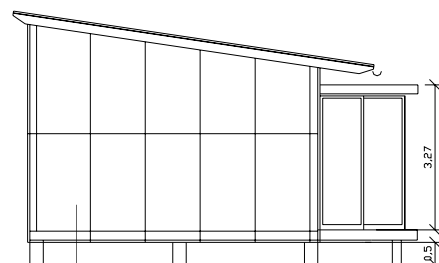
N



S



E



O

Figura 6.2.4. Alçado das fachadas Norte (N), Sul (S), Este (E) e Oeste (O) das Células de Teste

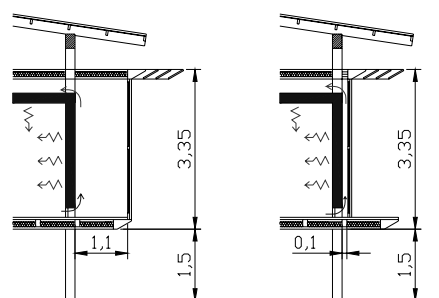


Figura 6.2.5. Planta das Células de Teste e secção vertical esquemática da janela com movimento telescópico de forma a criar uma estufa adossada ou uma parede de Trombe (distâncias em m)

simular um edifício do tipo MBT – Mixed Building Technology, onde se integram um núcleo de material pesado dentro duma envolvente leve (CET 1) e um edifício convencional, de referência (CET 2).

No caso concreto do estudo que se pretende realizar foi feito, como elemento de aferição, um terceiro compartimento de ensaio, uma Célula de Teste de tipo Passys, localizada entre as duas CET, onde se esperava poder aferir algumas das soluções propostas no sistema MBT, nomeadamente avaliar o efeito real do aquecimento por estufa anexada neste caso concreto, bem como o efeito da inexistência de massa de armazenamento térmico no compartimento. Nesta Célula foi também levado a cabo um ensaio com um PCM natural, óleo de côco, com vista a verificar as potencialidades duma estratégia de inércia térmica leve.

A inovação pretendida com as CET relativamente a Células de Teste já existentes, como as Passys, é a possibilidade de realizar ensaios de comportamento dinâmico com influência de todas as superfícies (paredes, tecto e pavimento), além de estudar o efeito da compartimentação de áreas interiores, com introdução de diferentes níveis de inércia e isolamento num mesmo compartimento da habitação.

Nas Figuras 6.2.3 e 6.2.4 é representado em planta e alçados o conjunto das CET para a realização dos ensaios pretendidos. As CET estudadas têm uma forma rectangular (aproximadamente 6,5x3,1m pelo exterior), com as fachadas principais orientadas na direcção Norte-Sul. Têm um envidraçado em toda a área de fachada Sul, que se pode mover segundo o plano horizontal, através dum movimento telescópico, que permite simular uma estufa adossada ou uma parede de Trombe não ventilada, tal como se mostra na figura 6.2.5.

Na Figura 6.2.6 mostra-se, duma forma isolada, as CET 1 e 2, que constituem a parte central do trabalho de investigação aqui apresentado.

A CET 1 (Figura 6.2.6.a) é a Célula Proposta, onde foi estudado o desempenho higratérmico da construção de peso misto. O objectivo principal desta célula é demonstrar que, com a introdução dum sistema misto, com optimização quer do desenho arquitectónico, quer da quantidade e tipo de materiais utilizados na envolvente e seu posicionamento, se pode reduzir os custos ambientais, sem no entanto aumentar os custos económicos nem perder conforto. Pretende-se também com esta CET, avaliar a viabilidade de se estabelecer uma compartimentação dos espaços interiores, através da introdução duma divisória leve entre duas zonas de características térmicas distintas: uma zona de maior inércia térmica, que corresponde à zona de dormir do quarto e de estar da sala e outra zona de menor inércia térmica, que corresponde à zona de trabalho do quarto, de jantar da sala e cozinha.

Com o intuito de obter uma análise comparativa, foi avaliada a CET 2 (Figura 6.2.6.b), com a mesma volumetria, mas adoptando uma solução convencional. Esta Célula foi construída segundo a solução construtiva actualmente mais comum nos edifícios de habitação em Portugal, baseada numa estrutura de betão armado, com pavimento e tecto em vigotas pré-esforçadas de betão e abobadilhas de tijolo furado, com paredes duplas (15+11cm) em tijolo furado e 4cm de poliestireno expandido extrudido (XPS) na caixa-de-ar rebocadas em ambas as faces.

De ambas as Células de Teste espera-se um bom desempenho térmico bioclimático, já que dispõem duma orientação solar correcta e sistemas de sombreamento eficazes. A Célula de Edifício Teste Convencional – CET 2, servirá para avaliar a solução arquitectónica convencional, levada ao seu extremo de optimização, mas dentro das suas limitações, originadas pela estratégia de ganho directo.

A divisória móvel na CET 1 permitiu avaliar duas situações de compartimentação, tal como se apresenta na Figura 6.2.7, quer em ensaios higrotérmicos, quer em ensaios acústicos.

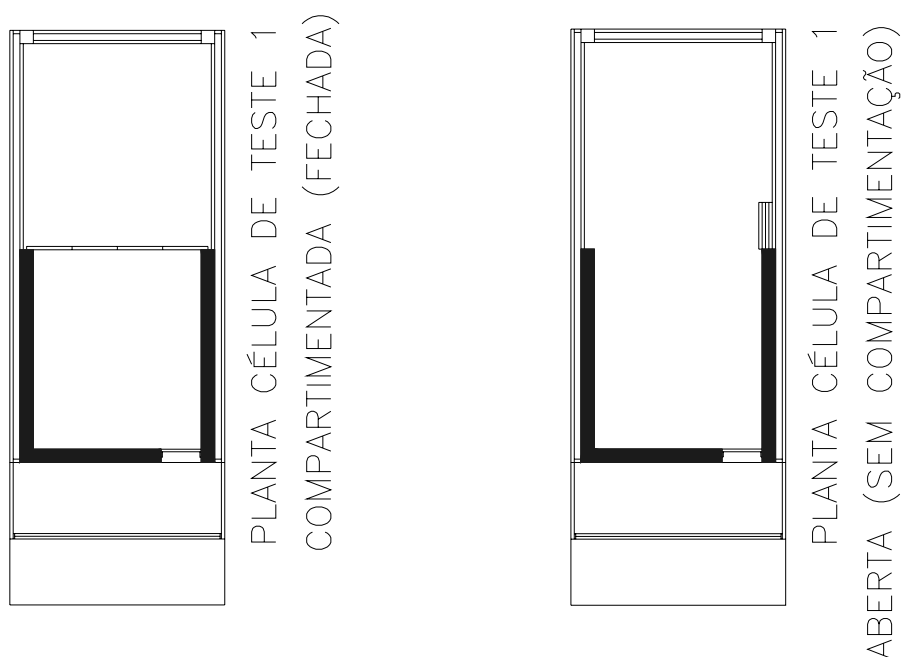


Figura 6.2.7. Compartimentação da Célula de Teste 1

A instalação das Células de Edifício Teste foi inicialmente proposta com a possibilidade de utilização futura como comércio. Estas foram programadas de forma a, com um mínimo de trabalhos de adaptação, serem objecto de uma transformação posterior em bar / cafetaria de apoio aos utentes desta Universidade. No Anexo 8 são apresentadas figuras que ilustram esta situação.

A obra na configuração final foi realizada na zona Sudeste do Campus de Azurém da Universidade do Minho, como se pode ver na Figura 6.2.8. As fotografias das diversas fases de construção da obra são apresentadas no Anexo 9, sendo apresentadas fotografias do estado actual nas Figuras 6.2.9 a 6.2.13.

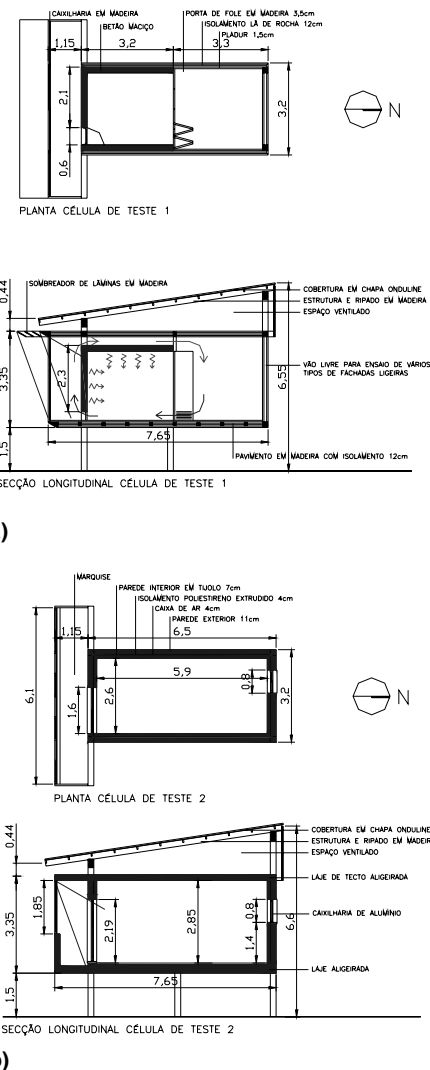


Figura 6.2.6. Células de Teste 1 e 2 isoladas

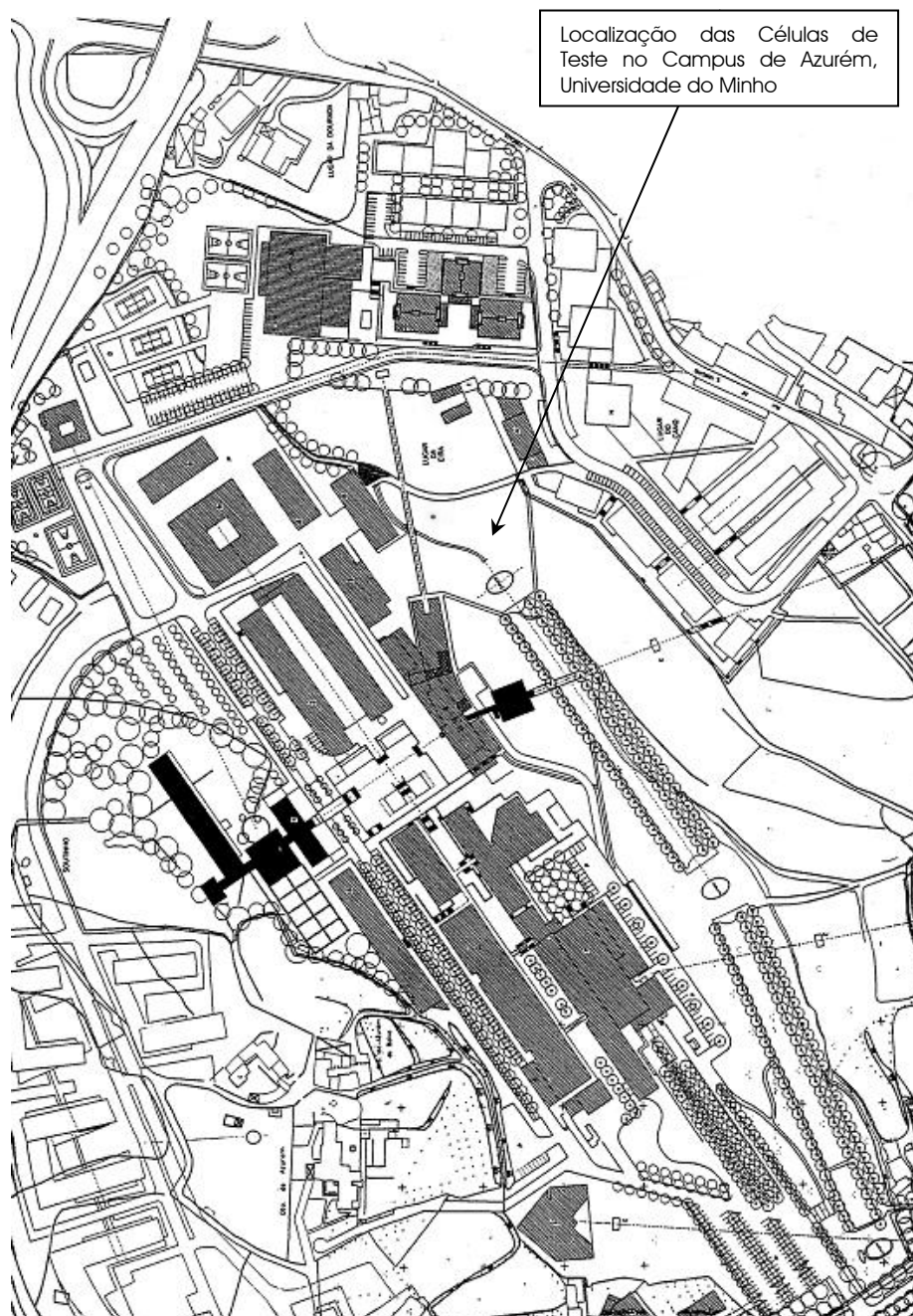


Figura 6.2.8. Local final de implantação das Células de Teste no Campus de Azurém da Universidade do Minho



Figura 6.2.9. Perspectiva frontal (Sul) das Células de Teste



Figura 6.2.10. Perspectiva Sudoeste das Células de Teste



Figura 6.2.11. Perspectiva Norte das Células de Teste com a entrada para o compartimento de serviço



Figura 6.2.12. Vista interior da Célula de Teste Convencional



Figura 6.2.13. Vista interior da Célula de Teste Proposta com a divisória de compartimentação aberta

6.3. Previsão do desempenho higratérmico, da iluminação natural e acústico

Os métodos de simulação do desempenho físico dos edifícios são úteis como ferramentas de projecto, permitindo realizar modificações nos momentos mais oportunos da concepção, de forma a otimizar o conforto e reduzir os custos de manutenção do edifício. A importância destes métodos é dada pelo facto de, uma vez concluída a obra, se tornar difícil ou nalguns casos mesmo impossível, corrigir os erros de má concepção. O aparecimento de novas e variadas técnicas construtivas, nas quais uma abordagem empírica do projecto pode falhar com uma maior margem de erro, além do desenvolvimento e divulgação de ferramentas informáticas e de modelos e métodos de cálculo simplificados, tornam imprescindível e muito mais fácil um salto qualitativo nos projectos de edifícios (Mitjá et al 1986). É hoje imprescindível que os projectistas comprovem as prestações previstas do edifício desenhado e o efeito positivo ou negativo dos sistemas a implantar e para isso disponham das ferramentas de cálculo necessárias.

Na concepção de edifícios, as especificações sobre o desempenho higratérmico e acústico têm tomado uma importância crescente, o que se tem manifestado no incremento de exigência dos regulamentos existentes. Enquanto não surgem regulamentos a nível europeu, os países europeus dispõem de regulamentos próprios ou adaptados de outros regulamentos, normas ou recomendações técnicas, que definem as exigências mínimas. Em Portugal existe para este efeito o Regulamento de Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

6.3.1. Previsão do desempenho higratérmico e adequação à regulamentação portuguesa das Células de Edifício Teste

São muitas as variáveis que afectam o desempenho higratérmico dum edifício, tais como: as características dos materiais de construção utilizados, a natureza dos ganhos de calor, a evolução destes ganhos ao longo do dia, a disposição e quantidade da massa térmica, o tipo de vida dos ocupantes, etc.. Torna-se por isso compreensível que os modelos matemáticos adoptados para a previsão do desempenho higratérmico tenham uma margem de erro que, quando se pretende maior rigor, aumente exponencialmente, ou então implique uma maior complexidade dos cálculos. Para efeitos práticos, utilizam-se geralmente modelos simplificados, suficientes para aplicações quotidianas.

Os métodos de cálculo simplificados permitem solucionar de forma rápida e com um grau aceitável de precisão, a maior parte dos problemas que surgem aos projectistas: cálculos sobre temperaturas interiores, cargas de aquecimento e arrefecimento, previsão das amplitudes térmicas diárias, etc.: ou seja, as questões básicas para decidir o nível de conforto térmico que terão os ocupantes do edifício e as previsões quanto às necessidades de

energia auxiliar para climatização. Alguns destes modelos são simples e precisam apenas do auxílio de uma máquina de calcular. Outros apresentam um nível mais elevado de complexidade e tornam necessário o recurso a um computador pessoal. Os mais correntemente utilizados são: o modelo de graus-dia, o modelo de impulsos e o modelo de redes malhadas.

A maioria dos métodos fundamenta-se mais ou menos directamente em algum dos modelos referidos. No caso do RCCTE, com base no qual se efectuaram as previsões do desempenho térmico das soluções utilizadas nas Células de Teste de Construções Não Convencionais, o modelo de referência é o de graus-dia. O modelo de graus-dia é um modelo de tipo estático, já que supõe que a temperatura interior do compartimento é um valor constante, sem considerar a possível evolução ao longo do dia. Utiliza o conceito de graus-dia dentro do processo de cálculo. Os métodos de graus-dia permitem o cálculo das necessidades de aquecimento e de arrefecimento dum edifício, assim como a determinação da temperatura interior média do edifício. Também se pode prever com estes métodos a amplitude térmica diária (Mitjá et al 1986).

A metodologia seguida pelo RCCTE é descrita detalhadamente no Manual de Apoio ao RCCTE (Fernandes e Maldonado 1990) e é referida sucintamente no Anexo 4.

O Modelo do RCCTE apresenta no entanto algumas limitações. Uma delas diz respeito aos ganhos solares passivos indirectos. A existência de ganhos solares através de estufa anexa e de paredes com efeito de estufa, não pode ser calculada através da metodologia adoptada no RCCTE, pelo que foi feito um cálculo específico para estas situações, utilizando a metodologia adoptada na Norma Francesa Th-BV de 1988 elaborada pelo "Centre Scientifique et Technique du Bâtiment" (CSTB 1988), que se apresenta brevemente no Anexo 4, nos aspectos necessários para os cálculos específicos efectuados. Esta metodologia é também baseada no modelo de graus-dia, pelo que a sua integração no modelo do RCCTE não apresenta incompatibilidades. Quanto às Paredes acumuladoras foi feito um estudo preliminar, a partir do qual se optou pela solução de Parede Dinâmica com efeito de Estufa, cujo valor de factor de transmissão solar F_{ts} obtido foi o mais favorável, sendo de 0,31 para a CET 1 (Proposta) e de 0,27 para a CET 2 (Convencional), como se pode ver na Tabela 6.3.1.

Tabela 6.3.1. Factor de Transmissão Solar em Paredes acumuladoras

	CET 1 Proposta	CET 2 Convencional
Parede Acumuladora c/ efeito de Estufa (s/ ventilação)	0,15	0,08
Parede de Trombe c/ efeito de Estufa	0,21	0,16
Parede Dinâmica c/ efeito de Estufa	0,31	0,27

No caso da Parede de Estufa foi calculada directamente a Área Equivalente Total de vidro a Sul S_{se} , sendo obtidos desta forma os Ganhos Solares Úteis. Para a CET Convencional com Estufa adossada o valor de S_{se} calculado foi de 5,35m². Para a CET

Proposta com Estufa adossada o valor de S_{se} calculado foi de $5,31\text{m}^2$.

Foram estudadas três situações para a CET Convencional e três para a CET Proposta (de desempenho ambiental otimizado), que são:

1. Sem envidraçado complementar na Fachada Sul;
2. Envidraçado a 0,10m da parede de fachada (tipo Parede Dinâmica com efeito de Estufa);
3. Envidraçado afastado 1,10m da parede de fachada (Estufa adossada).

A solução mais vantajosa em termos de previsão de desempenho térmico de Inverno, tanto para a CET Proposta como para a CET Convencional, foi a de Estufa adossada, como se pode ver nas Tabelas 6.3.2 a 6.3.7. A solução mais vantajosa em termos de previsão de desempenho térmico de Inverno, foi a CET Proposta, com a solução de Parede Dinâmica com efeito de estufa, sendo também esta a solução que apresentou um melhor desempenho combinado entre Verão e Inverno. As CET foram portanto configuradas para avaliar estas soluções experimentalmente, sendo por isso adoptadas para a Fachada Sul das duas CET. Pela análise das mesmas tabelas pode também concluir-se que a melhor solução, em termos de desempenho térmico na estação de Arrefecimento, será a solução sem envidraçado Sul, pelo que se propõe, numa situação real, a abertura dos envidraçados durante o Verão, funcionando como varanda aberta e não como estufa.

Tabela 6.3.2. Necessidades de Energia Útil para Aquecimento e para Arrefecimento [kWh/ano]

Configuração da Fachada Sul	CET 1 - Proposta		CET 2 - Convencional	
	Arrefecim	Aquecim	Arrefecim	Aquecim
1: S/ envidraçado na fachada Sul	275,76	1362,46	263,36	1657,09
2: Parede Dinâmica com efeito de Estufa	266,48	767,78	244,25	1480,92
3: Estufa Adossada	389,44	758,53	355,64	1251,93

Tabela 6.3.3. Necessidades Globais de Energia Útil [kWh/ano]

Configuração da Fachada Sul	CET 1 - Proposta	CET 2 - Convencional
1: S/ envidraçado na fachada Sul	1638,22	1920,45
2: Parede Dinâmica com efeito de Estufa	1034,26	1725,17
3: Estufa Adossada	1147,97	1607,57

Tabela 6.3.5. Necessidades Nominais máximas por m^2 de Área de Pavimento - N_v e N_i [kWh/ m^2 .ano]

CET 1		CET 2	
Verão (N_v)	Inverno (N_i)	Verão (N_v)	Inverno (N_i)
21,43	110,18	29,21	139,74
21,43	110,18	29,21	139,74
22,26	112,84	31,20	146,17

Tabela 6.3.4. Necessidades Nominais calculadas por m^2 de Área útil de Pavimento - N_{vc} e N_{ic} [kWh/ m^2 .ano]

Configuração da Fachada Sul	CET 1 - Proposta		CET 2 - Convencional	
	Verão (N_{vc})	Inverno (N_{ic})	Verão (N_{vc})	Inverno (N_{ic})
1: S/ envidraçado na fachada Sul	15,73	77,73	17,20	108,22
2: Parede Dinâmica com efeito de Estufa	15,20	43,80	15,95	96,72
3: Estufa Adossada	22,22	43,28	23,23	81,76

Tabela 6.3.6. Índices de Desempenho Térmico - IDT_v e IDT_i

Configuração da Fachada Sul	CET 1 - Proposta		CET 2 - Convencional	
	Verão (IDT_v)	Inverno (IDT_i)	Verão (IDT_v)	Inverno (IDT_i)
1: S/ envidraçado na fachada Sul	0,73	0,71	0,59	0,77
2: Parede Dinâmica com efeito de Estufa	0,71	0,40	0,55	0,69
3: Estufa Adossada	1,00	0,38	0,74	0,56

Tabela 6.3.7. Índice de Desempenho Térmico global - IDT

Configuração da Fachada Sul	CET 1 Proposta	CET 2 Convencional
1: S/ envidraçado na fachada Sul	0,72	0,69
2: Parede Dinâmica com efeito de Estufa	0,55	0,62
3: Estufa Adossada	0,69	0,65

6.3.2. Previsão das condensações nas paredes exteriores das Células de Edifício Teste

Nesta secção, é discutida a necessidade de controlar a humidade nas paredes de fachada dos edifícios e, com esse objectivo, são referidos os métodos analíticos disponíveis para avaliar as condensações intersticiais nas paredes exteriores dos edifícios. Embora outros problemas de humidade sejam mencionados, o aspecto principal a estudar baseia-se na prevenção dos efeitos devidos à condensação interior nas paredes exteriores das nas Células de Teste de Construções Não Convencionais. Os resultados do estudo aqui apresentado sobre as Células de Teste incidiram apenas sobre os elementos de fachada opacos, já que será nestes que as condensações podem ocasionar mais problemas de durabilidade.

O método de projecto mais simples é o método do perfil ou do ponto de saturação da humidade, que é descrito no manual do ASHRAE (ASHRAE 1997). O principal defeito deste método é não entrar em linha de conta com a difusibilidade ao vapor dos materiais.

O método de Glaser não apresenta o principal defeito apontado ao método do perfil da humidade, já que entra em linha de conta com a difusibilidade ao vapor. É talvez o método mais utilizado actualmente na análise dos riscos de ocorrência de condensações internas e na definição de regras de qualidade a que devem satisfazer os elementos construtivos, face à difusão de vapor. Este método é apresentado por Vasco Freitas e Paulo Pinto (Freitas e Pinto 1998).

a) Previsão através do método do perfil da humidade

A constituição das paredes estudadas através do método do perfil da humidade das Células de Teste é a seguinte (do exterior para interior):

- **Parede 1(PD1.2/15):** reboco (20mm); tijolo furado (150mm); caixa-de-ar (40mm); poliestireno expandido extrudido (40 mm); tijolo furado (110mm); reboco (20mm);
- **Parede 2 (PT(L)3.1):** aglomerado de fibras de madeira e cimento (12mm); caixa-de-ar (40mm); aglomerado de fibras de madeira e cimento (19mm); aglomerado de cortiça (80mm); fibra de coco (20mm); gesso cartonado (13mm);
- **Parede 3 (PMD2.1/15):** aglomerado de fibras de madeira e cimento (12mm); caixa-de-ar (40mm); fibra de coco (50mm); blocos de terra compactada (150mm); reboco (20mm).

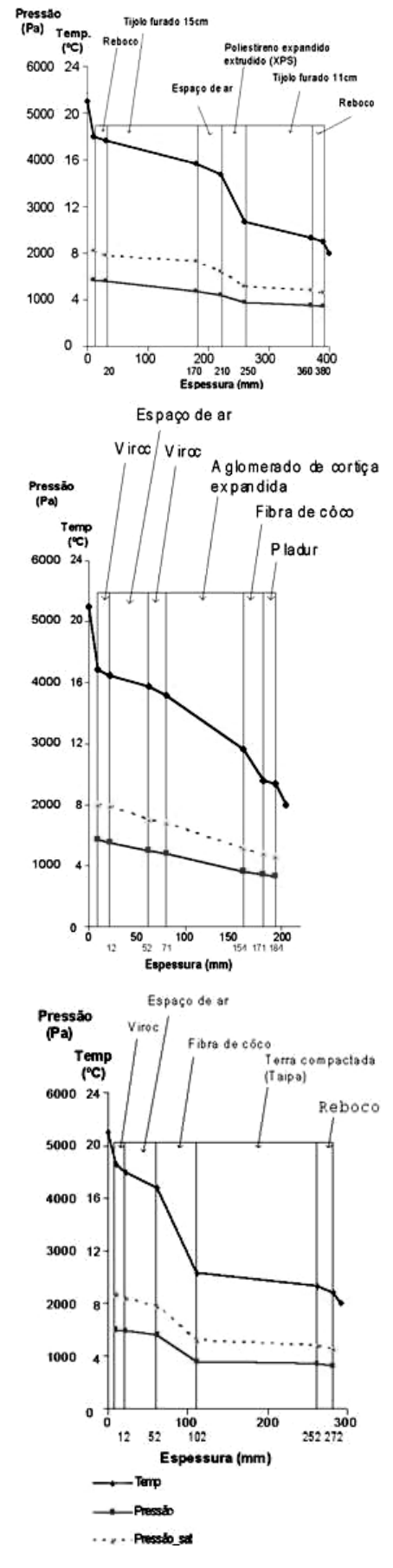


Figura 6.3.1. Verificação da ocorrência de condensações intersticiais na parede exterior através do método do perfil da humidade, para uma situação de temperatura exterior média

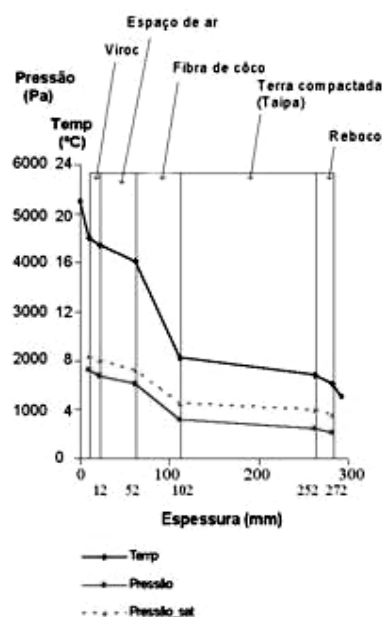
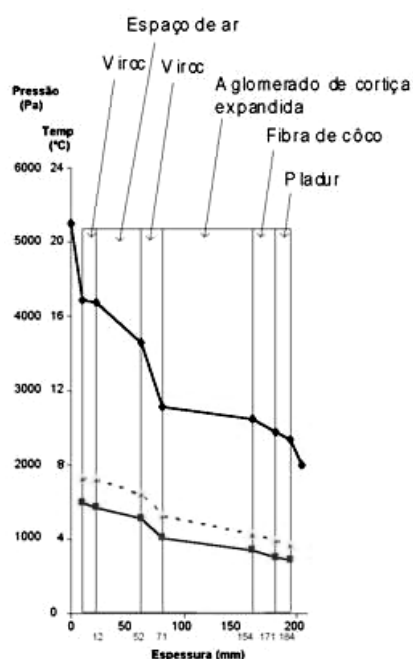
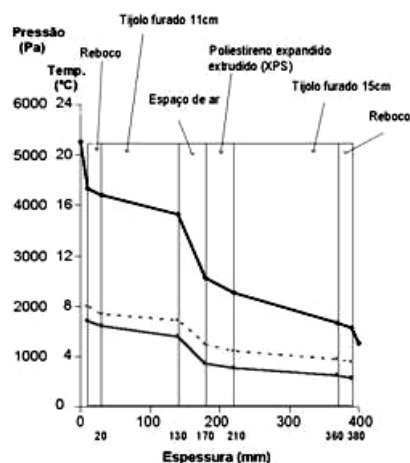


Figura 6.3.2. Verificação da ocorrência de condensações intersticiais na parede exterior através do método do perfil da humidade, para uma situação de temperatura exterior crítica

A avaliação das condensações nos paramentos exteriores das células de teste através do método do perfil da humidade foi feita para duas situações:

- **Situação média:** Figura 6.3.1 - temperatura exterior de 8°C, 77% de H_R , temperatura interior de 21°C, 70% de H_R ;
- **Situação crítica:** Figura 6.3.2 - temperatura exterior de 5°C, 65% de H_R , temperatura interior de 21°C, 90% de H_R .

b) Previsão através do método de Glaser

Através do método de Glaser foram igualmente estudadas as três paredes acima referidas. Para a aplicação deste método, além dos dados referidos anteriormente apenas foi necessário conhecer as Permeâncias ao Vapor de Água dos materiais constituintes das respectivas paredes. Em todas elas é possível identificar uma barreira de vapor [$P_e < 5,7e^{-10} \text{Kg}/(\text{m}^2.\text{s.Pa})$]:

- **Parede 1 (PD1.2/15):** Poliestireno expandido extrudido – $P_e = 0,45e^{-10} \text{Kg}/(\text{m}^2.\text{s.Pa})$;
- **Parede 2 (PT(L)3.1):** Aglomerado de cortiça – $P_e = 1,25e^{-10} \text{Kg}/(\text{m}^2.\text{s.Pa})$;
- **Parede 3 (PMD2.1/15):** Terra compactada (Blocos de adobe ou taipa) – $P_e = 1,11e^{-10} \text{Kg}/(\text{m}^2.\text{s.Pa})$,

O perfil da pressão do vapor de saturação que corresponde às temperaturas, é apresentado nas Figuras 6.3.1 e 6.3.2, juntamente com as pressões do vapor calculadas a partir de valores tabelados, além do valor da pressão de vapor interior e exterior. Por exemplo, a pressão do vapor no interior do paramento exterior da Parede 2 (Situação de temperatura exterior média) é:

$$P_{\text{Vapor}} = 1420 - \frac{2,5 + 1,3 + 0,3 + 0,013 + 1,3}{7,91} \cdot (1420 - 870)$$

⇔

(6.4.3)

$$P_{\text{Vapor}} = 1044 \text{ Pa}$$

Os valores para pressões de saturação do vapor podem ser encontrados em tabelas ou em diagramas psicrométricos. Por este método, não se prevê que ocorra condensação em nenhuma das paredes, embora fosse necessário igualar a pressão de saturação e a pressão nesse ponto da parede se ocorresse condensação no interior da parede. As pressões do vapor na restante parte da parede deveriam ser recalculadas.

O estudo da ocorrência de condensações nas paredes, seguindo o método de Glaser, foi realizado a partir do programa de cálculo CONDENA – 2000, desenvolvido por Vasco Peixoto de Freitas, Armandino Miguel de Sousa Silva e J. Gabriel Silva. A avaliação das condensações nos paramentos exteriores das Células de Teste, através do método de Glaeser, obtidos com o auxílio deste programa foi feita para duas situações:

- **Situação média:** Figura 6.3.3 - temperatura exterior de 8°C, 77% de H_R , temperatura interior de 21°C, 70% de H_R ;
- **Situação crítica:** Figura 6.3.4 - temperatura exterior de 5°C, 65% de H_R , temperatura interior de 21°C, 90% de H_R .

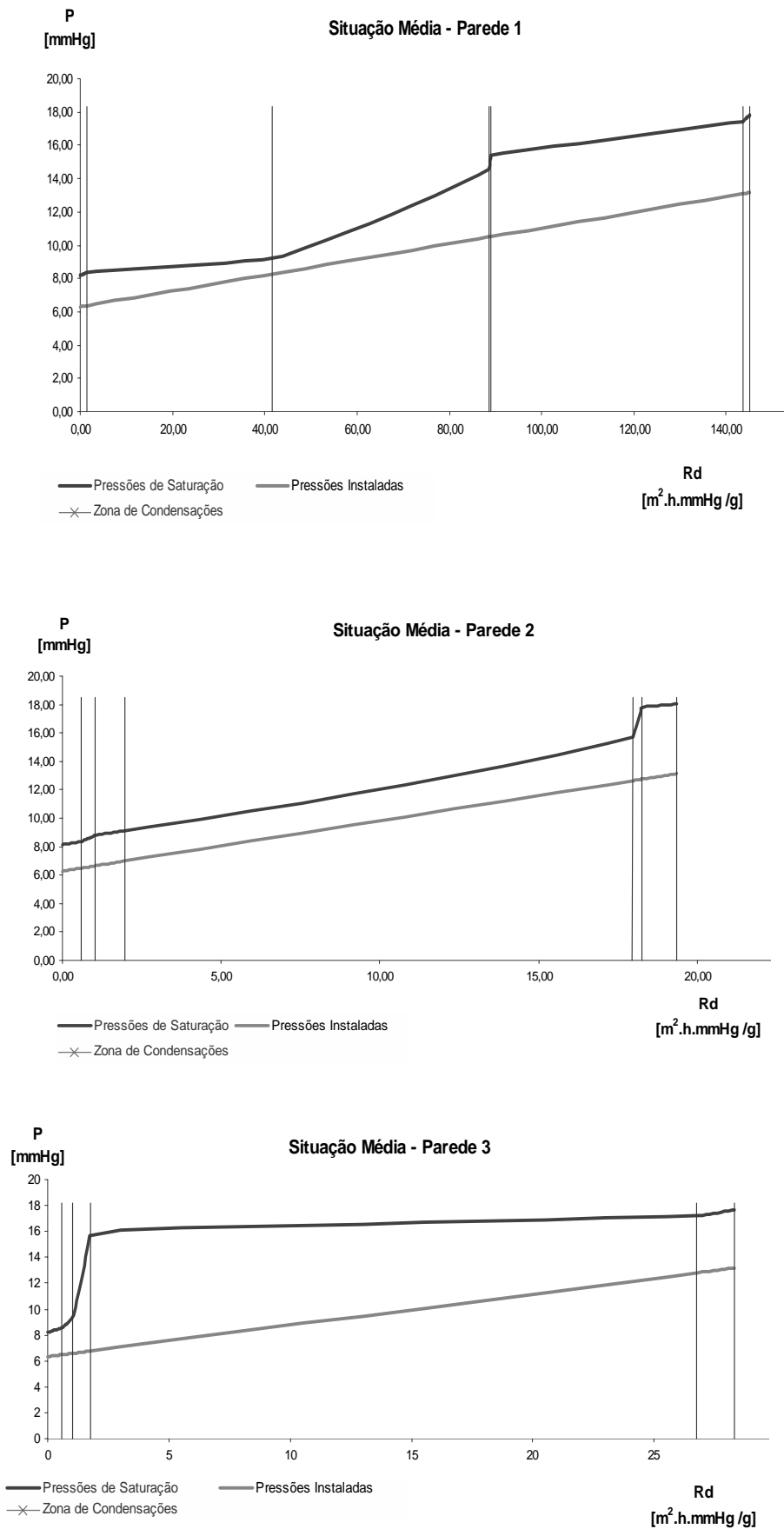


Figura 6.3.3. Verificação da ocorrência de condensações intersticiais nas paredes exteriores através do método de Glaser, para uma situação de temperatura exterior média

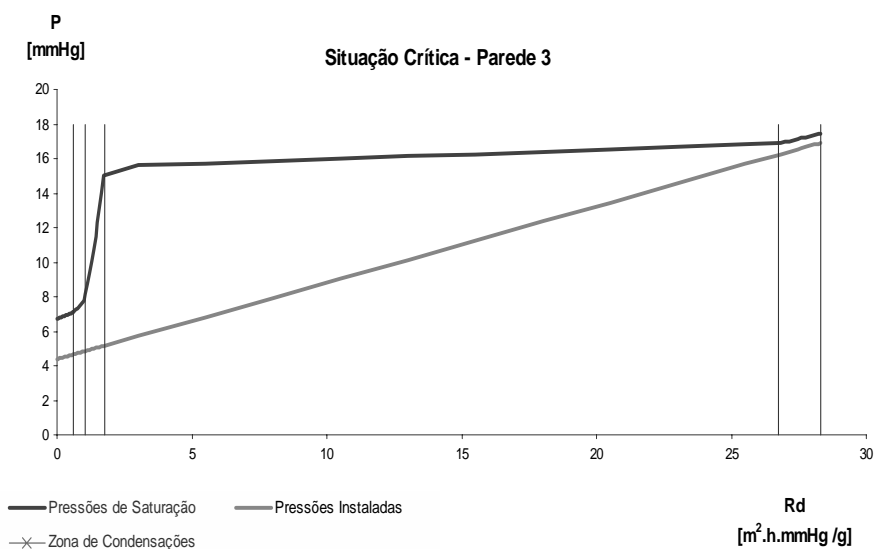
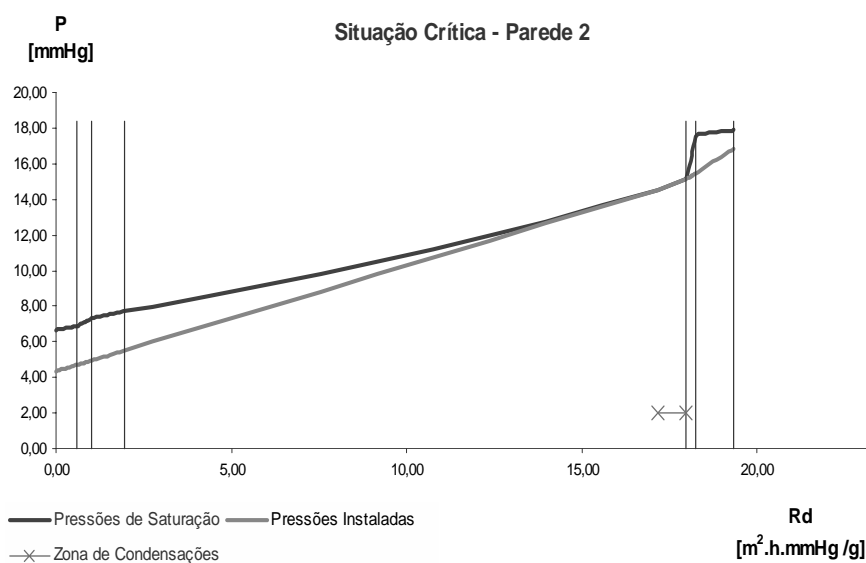
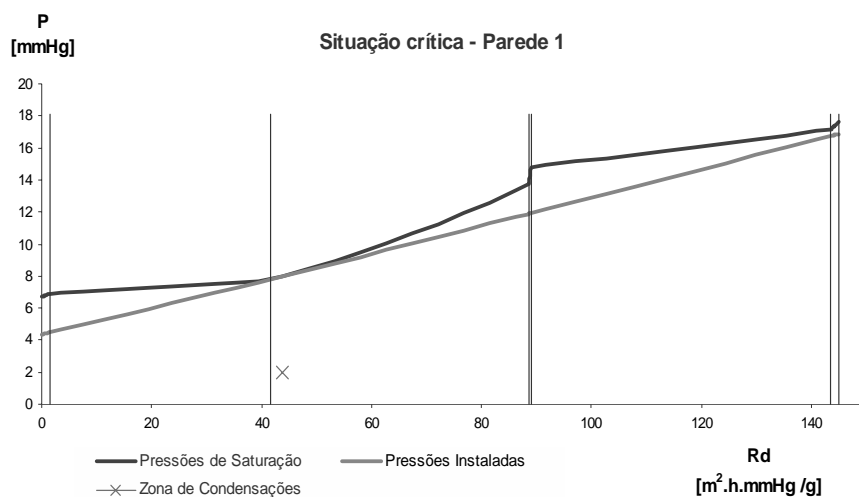


Figura 6.3.4. Verificação da ocorrência de condensações intersticiais nas paredes exteriores através do método de Glaser, para uma situação de temperatura exterior crítica

A partir dos resultados obtidos através do método de Glaser foi possível verificar que, em situações de temperatura e humidade críticas, podem ocorrer condensações no interior das paredes 1 e 2 nos pontos marcados com X, como se pode ver na Figura 6.3.4.

6.3.3. Previsão da iluminação natural

Em Portugal, a iluminação natural nos edifícios de habitação não está sujeita a nenhuma regulamentação específica, pelo que as características desta apenas se pautam pelo bom senso dos projectistas. Na prática, ainda que se queira demonstrar algumas preocupações com este aspecto, encontram-se dificuldades de diversa ordem na sua implementação. A profundidade dos lotes, as orientações impostas pelos arruamentos existentes ou a volumetria e cor dos obstáculos existentes, são aspectos de ordem urbanística ou geográfica que podem condicionar a implementação de estratégias de iluminação natural. Mas o que mais importa aqui referir, já que envolve todos os aspectos de conforto e energéticos aqui estudados, diz respeito à compatibilização com os regulamentos existentes, nomeadamente os de acústica e térmica. Tendo em conta as especificações recomendadas pelo RCCTE, a compatibilização da iluminação natural com o desempenho higrotérmico no Inverno e no Verão pode até revelar-se bastante complexa, já que o RCCTE apresenta uma estratégia de ganhos solares passivos essencialmente baseada em ganhos directos. O Regulamento adopta nesta matéria uma posição conservadora ao ter como área de envidraçado de referência, A_{env} , um valor de 15% da área útil do pavimento (Fernandes e Maldonado 1991) e não prevê soluções de ganhos térmicos indirectos na metodologia de previsão do desempenho térmico, nem beneficia a inclusão de soluções de iluminação natural.

O principal objectivo da iluminação natural nos edifícios é proporcionar um adequado ambiente interior para a realização de tarefas que aí sejam executadas, em condições de conforto visual para os seus ocupantes. Maximizar a utilização de luz natural permite dispensar ao máximo a iluminação artificial, contribuindo assim para a redução dos consumos energéticos, ainda que os consumos com a iluminação sejam relativamente reduzidos, se comparados com os consumos dos sistemas mecânicos de aquecimento e electrodomésticos e, principalmente, se forem utilizados sistemas de iluminação eficientes.

Toda a luz natural é proveniente do Sol, de uma forma directa (radiação solar) ou indirectamente em luz difusa proveniente de um hemisfério celeste (luz do céu). A luz natural pode ser caracterizada mediante três condições distintas de céu: limpo, parcialmente encoberto ou intermédio e encoberto. Com a distinção de céu limpo e céu encoberto pretende-se criar duas situações extremas de nebulosidade, no entanto o tipo de céu varia com a latitude e com as especificidades climáticas e micro-climáticas de cada local. No nosso País, o ambiente exterior de iluminação natural caracteriza-se, em termos médios, por uma predominância de céus limpos ou com pouca nebulosidade (Carvalho 1997).

Os aspectos quantitativos da iluminação natural nos edifícios, dependem das condições de nebulosidade do céu, do período do ano, das dimensões e características espectro-fotométricas dos vãos de envidraçado, das características geométricas do edifício e dos compartimentos, do número e características das obstruções

exteriores e ainda das características reflectométricas dos materiais superficiais interiores, bem como dos materiais exteriores próximos. Para além dos aspectos quantitativos existem também os qualitativos que regulam o encandeamento, a atenção ou a distração e que se manifestam pelo conforto visual dos ocupantes.

Existem vários métodos de análise das condições de iluminação natural nos edifícios, podendo agrupar-se todas as metodologias em duas classes: métodos de determinação de valores absolutos das iluminâncias e métodos de determinação de valores relativos.

Os métodos de análise para a determinação de valores absolutos das iluminâncias permitem uma previsão dos valores das iluminâncias, num dado ponto de um plano, proporcionadas pela luz natural. Os valores das iluminâncias variam com o tempo, com a orientação e dimensões das aberturas e com as condições exteriores de nebulosidade.

Os métodos de determinação dos valores das iluminâncias relativas prevêem uma percentagem de luz natural exterior que estará disponível num dado ponto dum plano.

As principais metodologias de análise de iluminação natural nos edifícios são: para valores absolutos existe o método de Lúmen e o método de transferência do fluxo; para valores relativos existe o método do Factor de Luz-do-Dia (FLD) médio.

Pretende-se com este estudo, tal como foi feito na avaliação do desempenho higrotérmico, estabelecer a comparação entre os valores da iluminação natural previstos nas duas soluções construtivas propostas ensaiadas nas CET.

Na CET 1, pretende-se compatibilizar a iluminação natural com os outros aspectos de conforto. Com esse objectivo, como já foi referido, optou-se por estratégias de ganho indirecto térmico a Sul (estufa ou Parede Trombe) e iluminação com luz difusa a Norte (fachada Norte totalmente envidraçada com um material de isolamento transparente (Policarbonato alveolar) para iluminação natural das áreas de trabalho da habitação.

A CET 2 refere-se à solução convencional, com orientação dos envidraçados maioritariamente a Sul através de ganho directo e onde se aplica mais directamente o conceito de habitação subjacente ao RCCTE.

Os parâmetros considerados neste estudo, caracterizadores da qualidade e quantidade da iluminação natural no interior dos espaços, foram o Factor de Luz-do-Dia e os valores médios de Iluminâncias.

Teoricamente, o conceito de FLD pode ser aplicado sob quaisquer condições de nebulosidade (céu limpo, encoberto ou parcialmente encoberto). Todavia, a sua representatividade, enquanto parâmetro característico, restringe-se às condições de

nebulosidade traduzidas pelo Céu-Encoberto-Padrão da CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) cuja distribuição teórica de iluminâncias apenas traduz com rigor as condições de céu completamente encoberto por nuvens escuras. A título de exemplo apresenta-se na Figura 6.3.5 os valores da Iluminância exterior considerados para a simulação efectuada.

O plano de trabalho considerado foi um plano horizontal, que dista 70cm do pavimento, conforme se representa na Figura 6.3.6. Os valores de Iluminância e de FLD recomendados no plano de trabalho em Edifícios Residenciais são os indicados nas Tabelas 6.3.8 e 6.3.9.

Tabela 6.3.8. Iluminâncias Recomendadas no Plano de Trabalho em Edifícios Residenciais

Local	Iluminâncias recomendadas (lux)
Zonas de passagem	50-100
Salas de estar	100
Salas de estar, cozinhas	200
Zonas de estudo	300-500

Fonte: CIE

Tabela 6.3.9. Valores recomendados do Factor de Luz do Dia em Edifícios Residenciais

Local	Factor de luz do dia (%)
Quartos de dormir	0,5% (a $\frac{1}{3}$ do comprimento do compartimento)
Cozinhas	2% (a meio do comprimento do compartimento)
Salas de estar	1% (a meio do comprimento do compartimento)

Fonte: CIE1999

As estimativas de iluminação da CET foram efectuadas nos dois solstícios e num dos equinócios (21 de Dezembro, 21 de Junho e 21 de Março), em três ocasiões do dia, (9, 12 e 15 horas). Consideraram-se ser estes os períodos que melhor permitem caracterizar todas as situações possíveis de utilização dos espaços de habitação, com luz-do-dia.

Para a simulação da iluminação nas Células de Teste de Construções Não Convencionais foi utilizado o Programa Relux (versão 3.0 Demo). Neste programa, para cada uma das CET foram introduzidos os dados geométricos, bem como as características dos materiais de revestimento das superfícies interiores.

Os pontos de avaliação utilizados para caracterizar a solução Convencional são representados em planta na Figura 6.3.7.

Os pontos de avaliação utilizados para caracterizar a solução Proposta são representados em planta na Figura 6.3.8.

As características de transmissão da luz visível por parte das superfícies transparentes e translúcidas (vãos envidraçados) e características de reflexão das superfícies interiores, possuem influência directa na quantidade e qualidade da iluminação natural dos edificios. Deste modo foi igualmente efectuada a caracterização dos materiais relativamente à reflectância difusa visível das superfícies opacas interiores (ρ_s) e à transmitância difusa visível (τ_v), sendo os valores considerados os apresentados nas Tabelas 6.3.10 e 6.3.11.

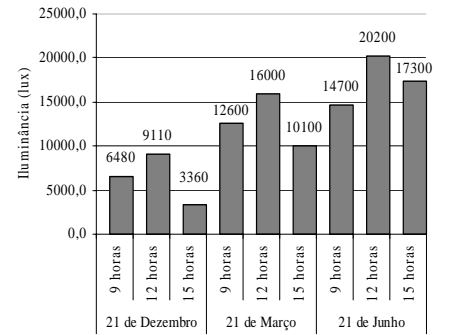


Figura 6.3.5. Iluminância no exterior das Células de Teste

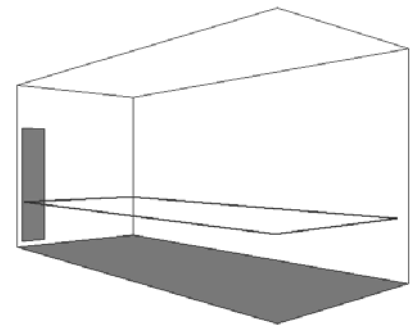


Figura 6.3.6. Altura do plano de medição na Célula Proposta

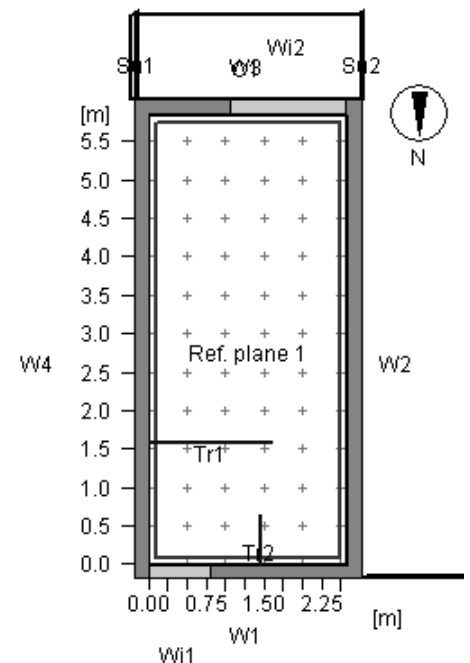


Figura 6.3.7. Malha de pontos de avaliação para simulação de iluminâncias na CET 2 (Convencional)

Tabela 6.3.10. Propriedades reflectométricas das superfícies opacas

Superfícies opacas	Cor	Textura/aparência	ρ_s
Paredes (célula convencional)	Branco	Reboco liso; limpo	85%
Paredes (célula proposta)	Branco	Cal rugosa; limpa	80%
Paredes (célula proposta)	Branco	Pladur estanhado	83%
Pavimento	Castanho claro	liso	31%
Caixilhos em alumínio	Cinzentos claros	Liso; metálica	9%

Tabela 6.3.11. Propriedades dos vãos de envidraçados

Vãos envidraçados	Cor	Textura/aparência	τ_v
Vidro simples	Incolor	Liso; 6 mm	85%
Vidro duplo	Incolor	Liso; 6+6mm	70%
Polycarbonato alveolar (Arcolite twin-wall sheet 10mm sp. data)	Incolor	Ondulado	83%
Vidros laterais translúcidos		Lisos	64%
Vidros duplos reflectantes	Incolor	Lisos	45%

Os valores de iluminâncias obtidos nas simulações efectuadas conduziram aos valores médios indicados nas Figuras 6.3.9 a 6.3.11, sendo sempre mais favoráveis para a solução proposta, não apenas por existir uma maior disponibilidade ao longo do dia, como por também serem valores mais homogêneos e melhor distribuídos no compartimento de Trabalho, localizado a Norte na CET Proposta.

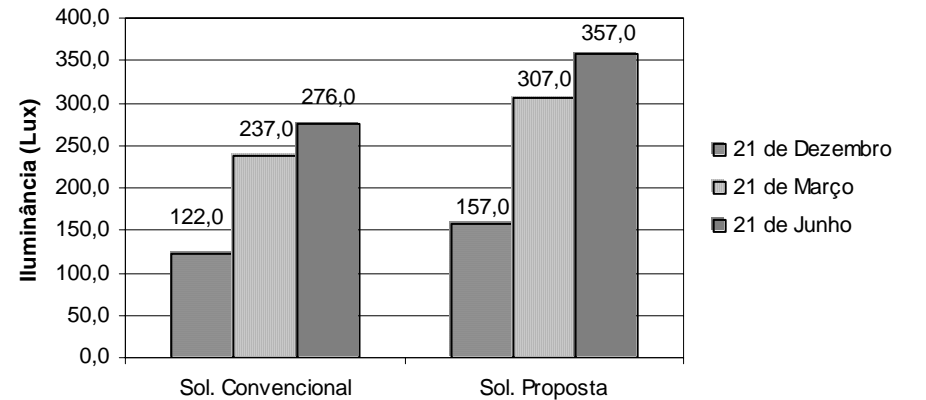


Figura 6.3.9. Iluminância média estimada nas duas CET às 9 horas TSV

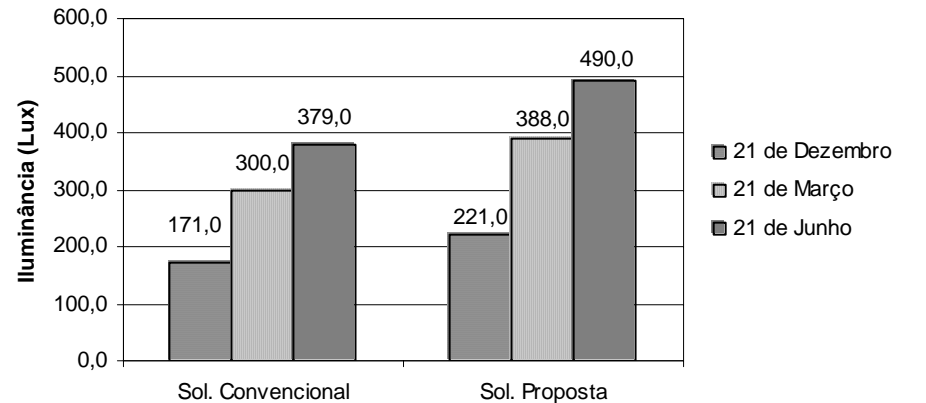


Figura 6.3.10. Iluminância média estimada nas duas CET às 12 horas TSV

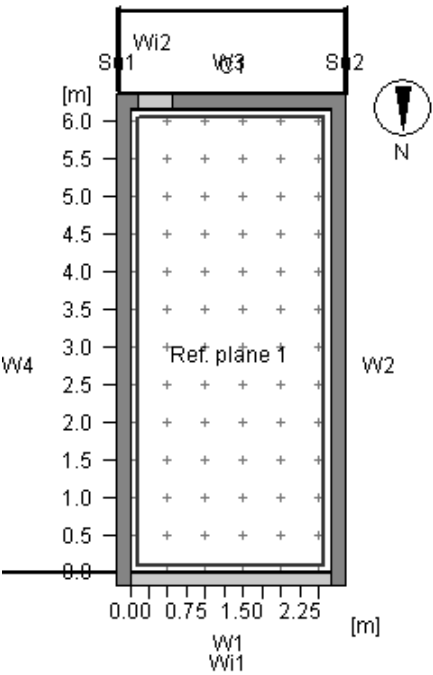


Figura 6.3.8. Malha de pontos de avaliação para simulação de iluminâncias na CET 1 (Proposta)

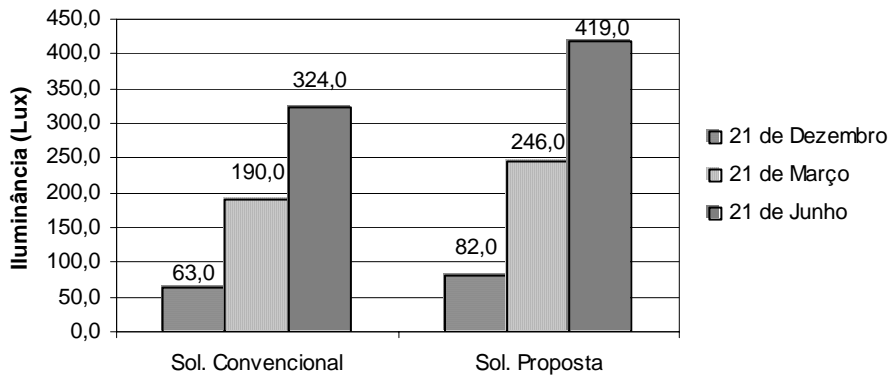


Figura 6.3.11. Iluminância média estimada nas duas soluções construtivas às 15 horas TSV

Da análise das figuras anteriores pode concluir-se que a situação mais desfavorável é a referente ao Solstício de Inverno. Por essa razão foi esta a situação que se optou por mostrar aqui mais detalhadamente, nas Figuras 6.3.12 e 6.3.13.

Pela análise das plantas da Figura 6.3.12, onde se apresentam os níveis de iluminância durante o dia 21 de Dezembro, pode verificar-se que na CET 1 (Proposta) existe um nível de iluminância médio mais elevado, além disso a iluminação é distribuída duma forma mais homogénea na zona de trabalho (Norte) da CET 1 do que no compartimento principal da CET 2 (Convencional). Pela estratégia de ganhos indirectos da CET 1, a iluminação natural está mais disponível em todas as situações de ocupação real, já que não existe incidência de sol directo que possa causar desconforto e leve os ocupantes a limitar a entrada da radiação e consequentemente alterar os valores estimados da iluminação natural e dos ganhos solares térmicos.

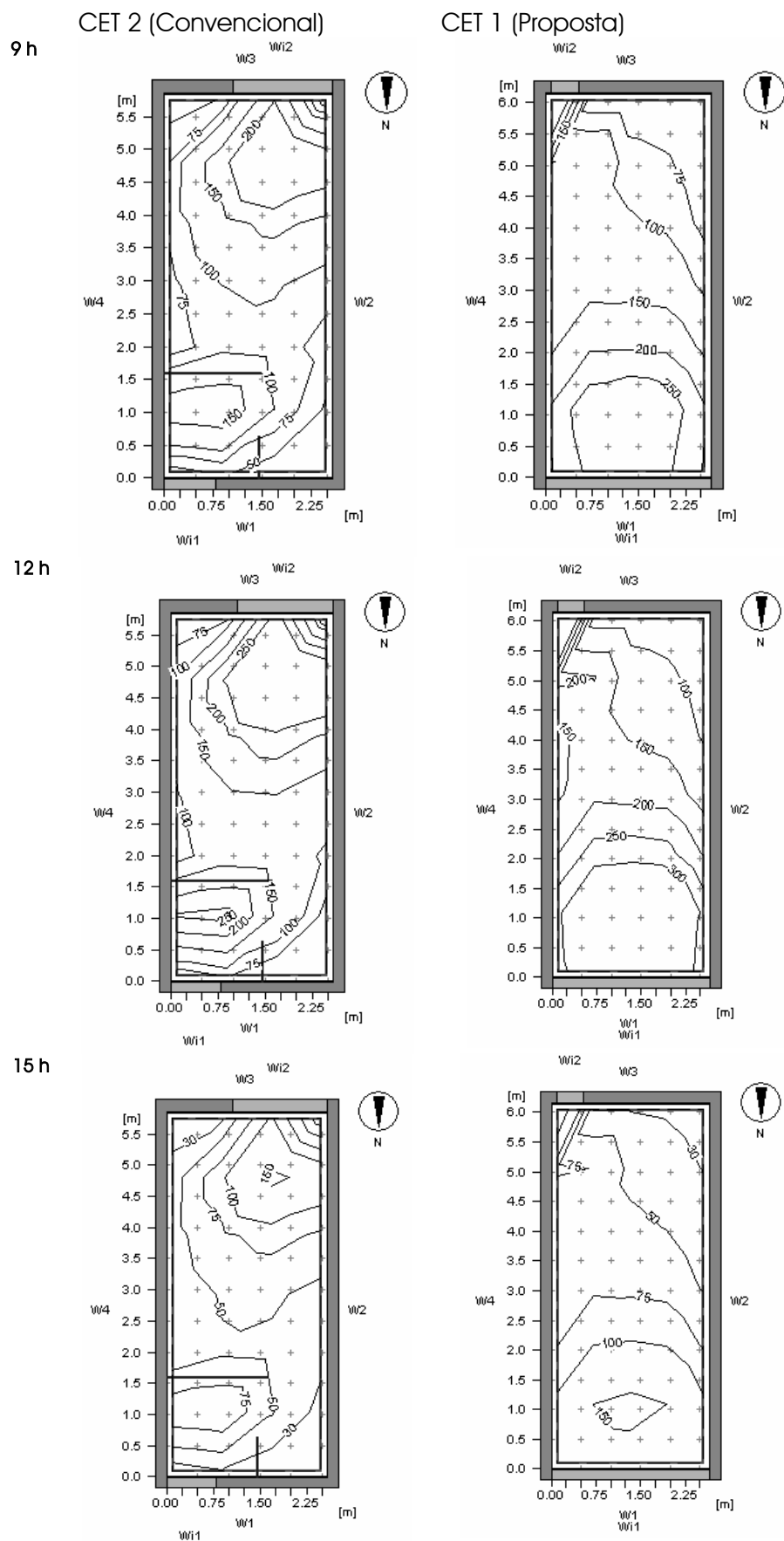


Figura 6.3.12. Comparação dos níveis de iluminância estimados na situação de piores recursos solares disponíveis: 21 de Dezembro às 9, 12 e 15h

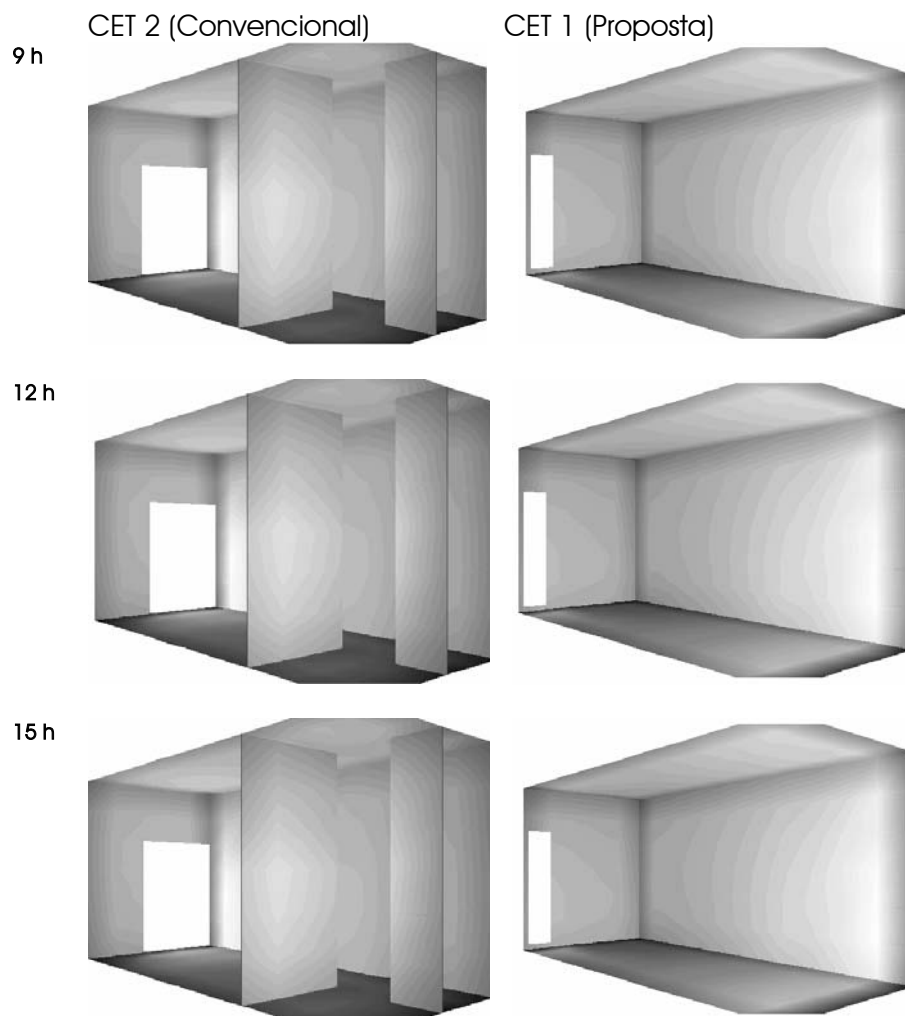


Figura 6.3.13. Simulação de valores de luminância (distribuição das luminâncias nas superfícies interiores: 21 de Dezembro às 9h

6.3.4. Previsão do desempenho acústico e adequação à regulamentação portuguesa das Células de Edifício Teste

Através da metodologia descrita por Mateus e Tadeu (Mateus e Tadeu 1999) - Método Misto - baseado no Método de Meisser (Meisser 1978) e sintetizado no Anexo 1, foram realizadas estimativas do isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{n,w}$) dos elementos de fachada, cobertura e pavimento das duas Células de Edifício Teste, bem como uma avaliação da Transmissão Marginal. Os valores estimados apresentam-se na Tabela 6.3.12. Os mesmos valores, com a ponderação da Transmissão Marginal, estimada de acordo com a metodologia descrita por Jorge Patrício (Patrício 2000) apresentam-se na Tabela 6.3.13.

Tabela 6.3.12. Valores estimados de $D_{n,w}$ nas CET [dB]

Célula de Edifício Teste 1-Proposta 2-Convencional		Fachada Sul (s/ envidraçado complementar)	Fachada Oeste (CET 1) Fachada Este (CET 2)	Fachada Norte	Pavimento	Cobertura
1	Zona Norte (Leve)	40	50	21	55	42
	Zona Sul (Pesada)		53		52	54
2		39	51	44	49	49

Tabela 6.3.13. Valores estimados de $D_{n,w}$ nas CET com ponderação da transmissão marginal [dB]

Célula de Edifício Teste 1-Proposta 2-Convencional		Fachada Sul (s/ envidraçado complementar)	Fachada Oeste (CET 1) Fachada Este (CET 2)	Fachada Norte	Pavimento	Cobertura
1	Zona Norte (Leve)	40	(-6) 44	21	55	42
	Zona Sul (Pesada)		(-4) 49		52	54
2		39	(-3) 48	44	49	49

Nota: Os valores de correcção pela transmissão marginal apresentam-se entre parênteses

Como se pode verificar pela análise da Tabela 6.3.13, apenas as fachadas Oeste e Este apresentaram alterações aos valores estimados pela influência da Transmissão Marginal. Pode igualmente ver-se na mesma tabela que a Zona Sul da CET Proposta, onde se necessita maior isolamento pelo tipo de ocupação esperado, apresenta sempre valores de $D_{n,w}$ superiores à CET Convencional, o que vem demonstrar a viabilidade da estratégia de zonamento, também sob o ponto de vista de conforto acústico.

Apresentam-se seguidamente as curvas de atenuação sonora a sons de condução Aérea das fachadas das CET, bem como as curvas de referência e curvas auxiliares utilizadas para o cálculo do $D_{n,w}$.

6.3.4.1. Previsão de $D_{n,w}$ nas fachadas da CET Convencional

Na solução convencional existem paredes duplas com e sem envidraçados. A parede Nascente não tem envidraçado, enquanto as paredes Norte e Sul têm envidraçados, mas com áreas diferentes.

i) Fachada Este

Esta fachada é composta por uma parede dupla, representada na figura 6.3.14, de alvenaria de tijolo de 11+15cm, rebocada na face interior e exterior e com uma caixa-de-ar de 8cm parcialmente preenchida com um material isolante térmico (Poliestireno expandido extrudido), com reduzida influência no índice de atenuação sonora.

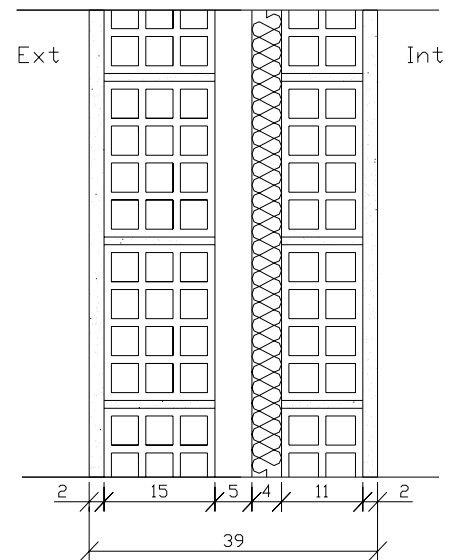


Figura 6.3.14. Seção da parede exterior da solução convencional

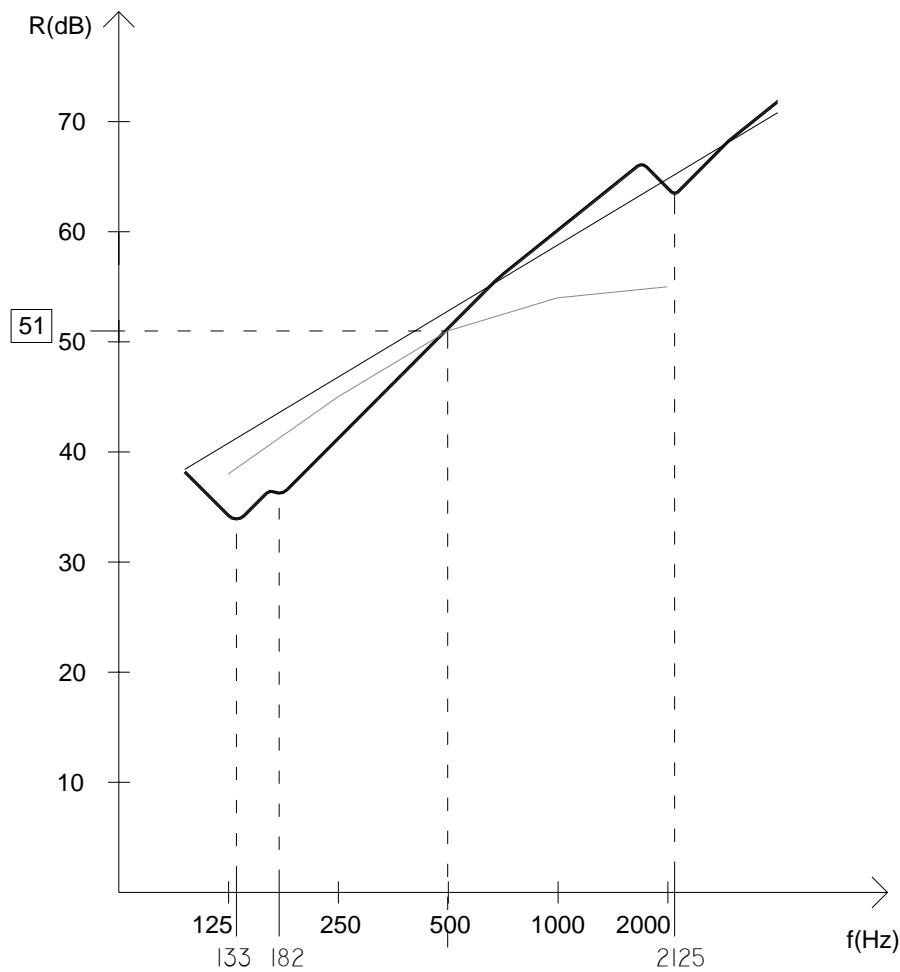


Figura 6.3.15. Curva do Índice de Isolamento Sonoro para a Fachada Este da CET Convencional

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, ponderado ($D_{n,w}$) lido na Curva de Referência é de 51 dB, como se pode ver na Figura 6.3.15.

ii) Fachada Norte

A parede desta fachada tem as mesmas características da parede Este, mas neste caso existe uma pequena janela, o que vai reduzir o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da fachada. A janela possui um vidro simples de 4mm.

A Curva de Atenuação Sonora da parte opaca desta já foi determinada, sendo agora necessário ponderar a influência da parte envidraçada no comportamento global da parede. Foi assim determinada a curva de atenuação sonora para o envidraçado e ponderada com a curva já determinada anteriormente, da parede da fachada Este.

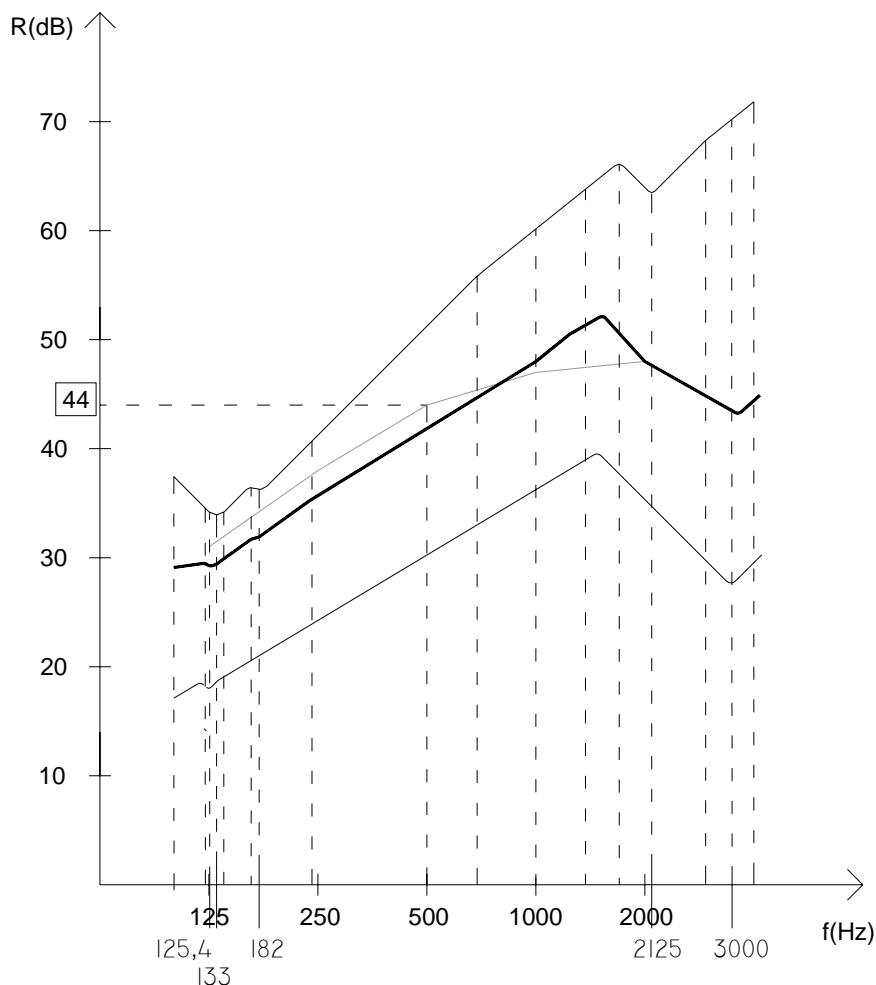


Figura 6.3.16. Curva do Índice de Isolamento Sonoro para a Fachada Norte da CET Convencional

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, ponderado ($D_{n,w}$), lido na curva de referência é de 44dB, como se pode ver na Figura 6.3.16.

iii) Fachada Sul (sem envidraçado complementar exterior)

A parede desta fachada tem as mesmas características da parede Norte, mas neste caso o envidraçado tem uma área superior, o que vai reduzir o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da fachada.

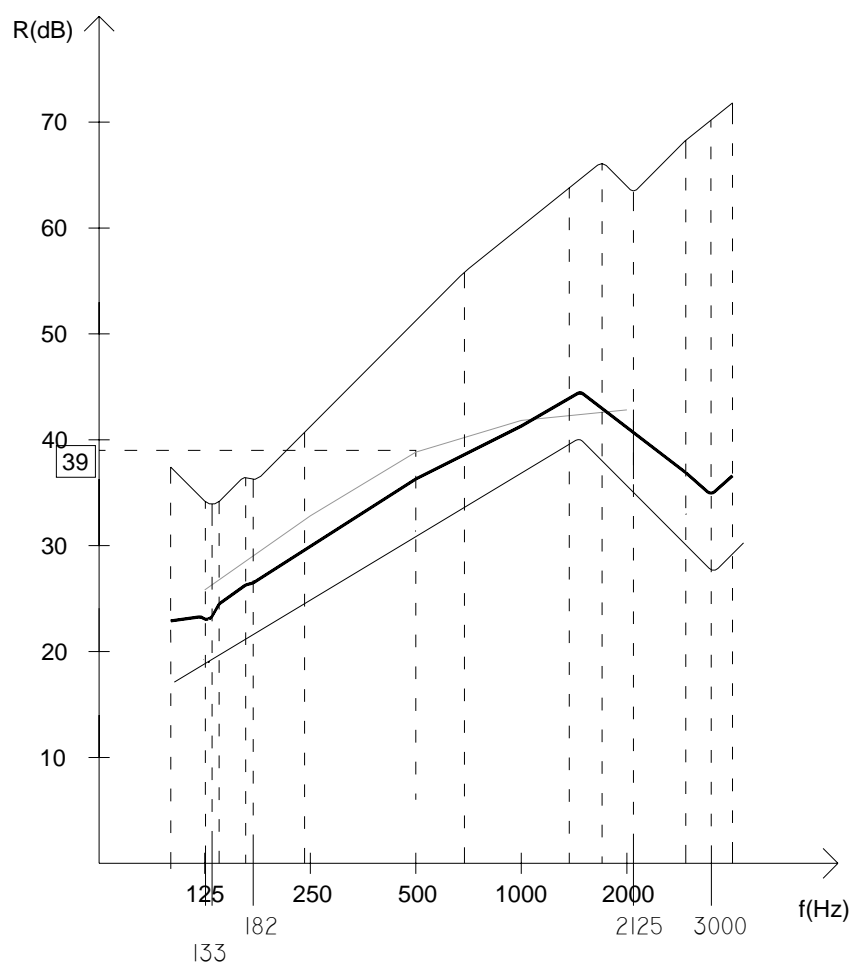


Figura 6.3.17. Curva do Índice de Isolamento Sonoro para Fachada Sul da CET Convencional

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, ponderado ($D_{n,w}$) lido na curva de referência é de 39dB, como se pode ver na Figura 6.3.17.

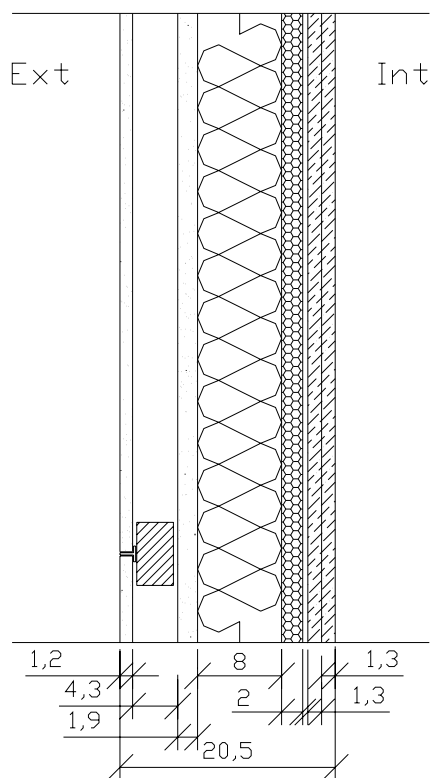


Figura 6.3.18. Secção da parede exterior tripla leve da solução proposta

6.3.4.2. Previsão de $D_{n,w}$ nas fachadas da CET Proposta

Na solução proposta existem paredes multi-camada com e sem envidraçados. A fachada Oeste não tem envidraçados, enquanto que na fachada Sul existe um envidraçado. A fachada Norte é totalmente envidraçada.

i) Fachada Oeste (leve)

A fachada Oeste é composta de duas zonas distintas. A representada na Figura 6.3.18, é composta por um elemento leve constituído por três panos. O pano interior é formado por duas placas de gesso cartonado. O pano intermédio e o pano exterior são em aglomerado de fibras de madeira e cimento. Existem duas caixas-de-ar: sendo a exterior de 4,3cm, sem material absorvente e a interior totalmente preenchida com dois materiais absorventes (Aglomerado de cortiça expandida e Fibra de côco).

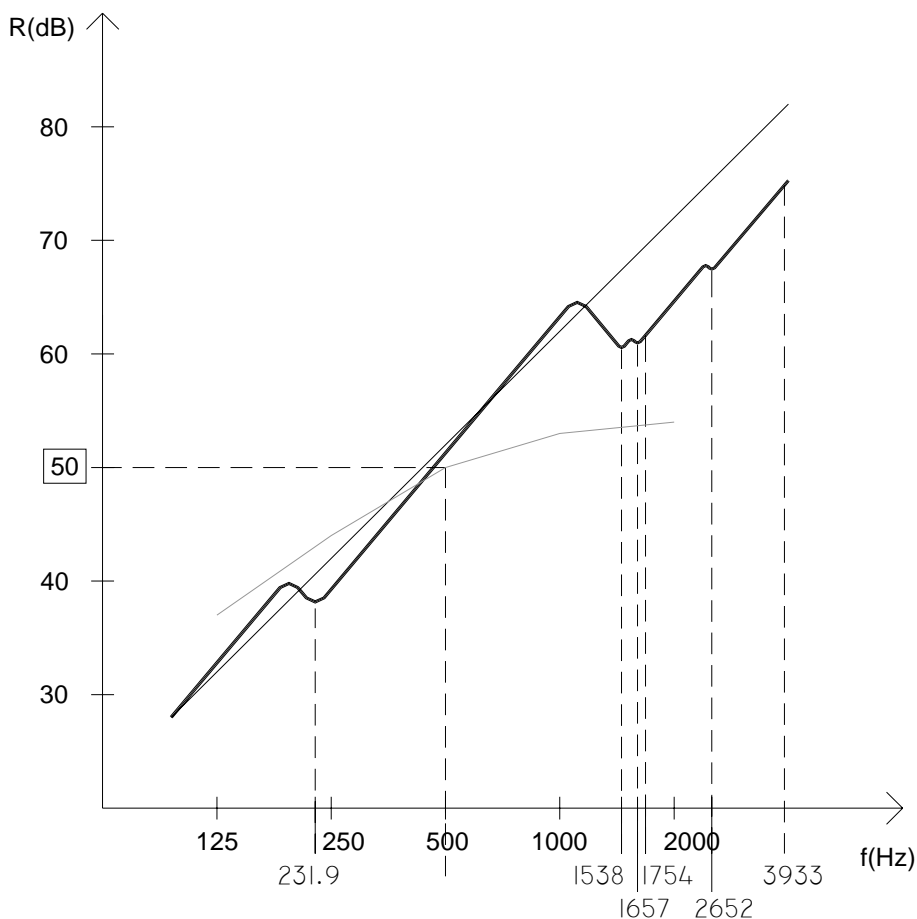


Figura 6.3.19. Curva do Índice de Isolamento Sonoro para a Fachada Oeste leve da CET Proposta (Zona Norte)

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, ponderado ($D_{n,w}$) é de 50dB, como se pode ver na Figura 6.3.19.

ii) Parede Poente (adobe)

A segunda parede da fachada Oeste é uma parede mista, representada na Figura 6.3.20, sendo composta por dois panos. O exterior é um painel de aglomerado de fibras de madeira e cimento e o interior é em alvenaria de adobe de 15cm de espessura caiada na face interior e com uma caixa-de-ar de 10cm parcialmente preenchida com aglomerado negro de cortiça expandida.

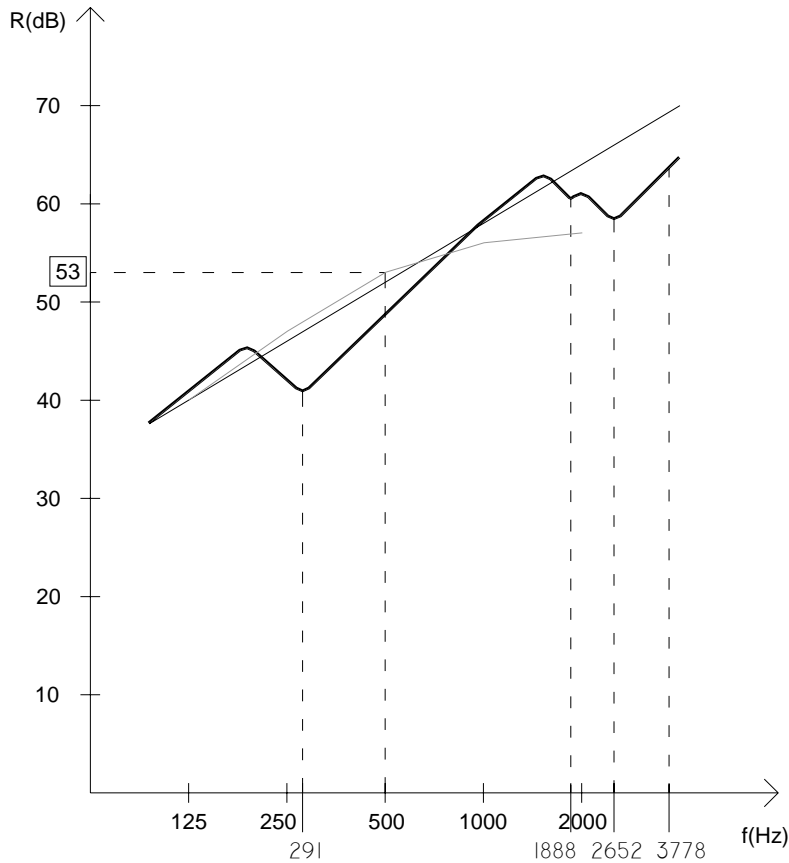


Figura 6.3.21. Curva do Índice de Isolamento Sonoro na Parede Dupla de Adobe na Fachada Oeste da CET Proposta (Zona Sul)

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, ponderado ($D_{n,w}$) lido na curva de referência é de 53dB, como se pode ver na Figura 6.3.21.

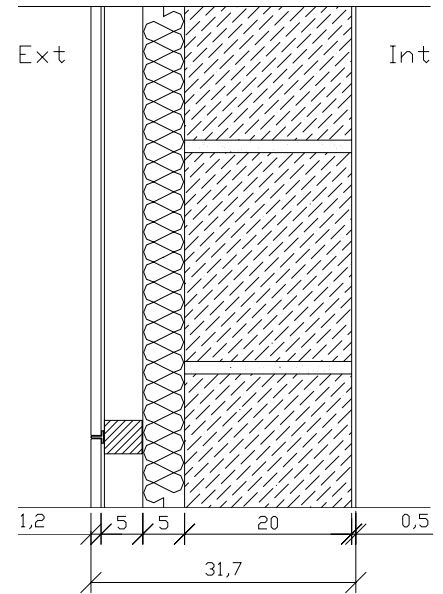


Figura 6.3.20. Secção da Parede exterior dupla mista exterior da solução proposta

III) Fachada Sul (adobe+envidraçado)

Em situação de Verão (sem envidraçado na varanda ou com este aberto) a fachada Sul da CET Proposta é uma Parede Simples com alvenaria de adobe de 15cm caiada nas duas faces, existindo um envidraçado, com vidro simples, o que vai reduzir o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea da fachada.

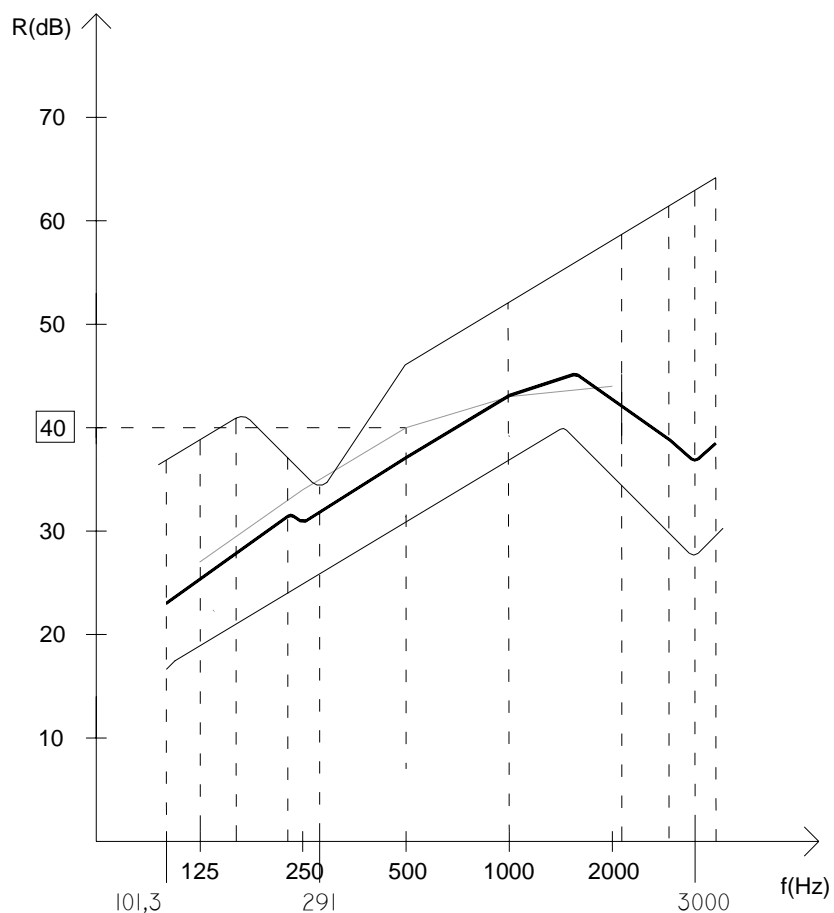


Figura 6.3.22. Curva do Índice de Isolamento Sonoro para a Parede Dupla + Envidraçado

O valor do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, ponderado ($D_{n,w}$) lido na curva de referência, é de 40dB, como se pode ver na Figura 6.3.22.

iv) Fachada Norte (envidraçado)

A fachada Norte da CET Proposta é totalmente envidraçada, sendo a maior parte da área constituída por Policarbonato Alveolar com 10mm de espessura, e uma área menor constituída por vidro simples de 4mm de espessura.

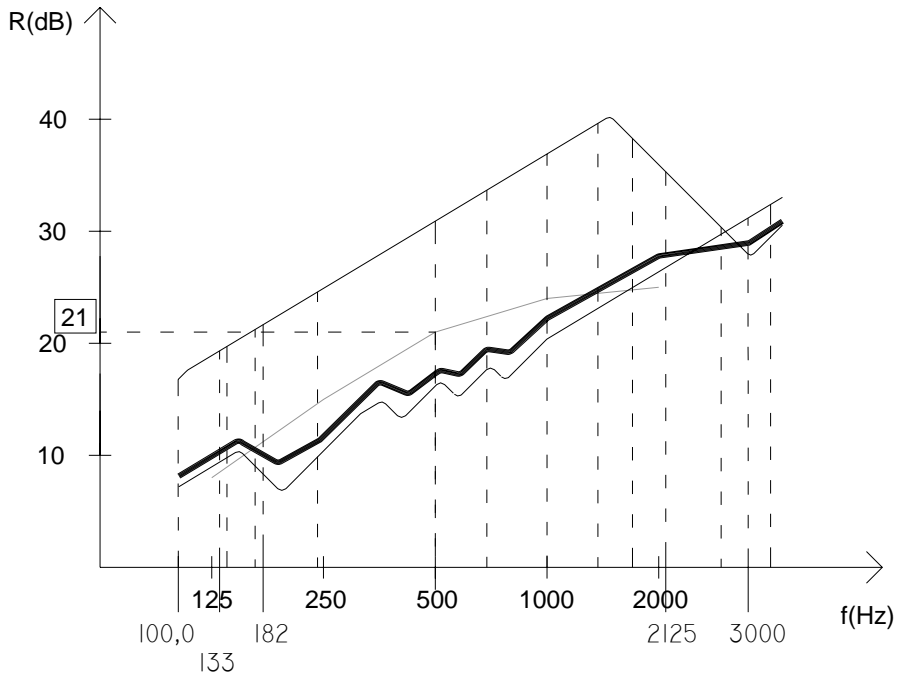


Figura 6.3.23. Curva do Índice de Isolamento Sonoro para a fachada Norte totalmente envidraçada

O valor do Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea normalizado, ponderado ($D_{n,w}$) lido na curva de referência, é de 21 dB, como se pode ver na Figura 6.3.23.

6.4. **Optimização energética**

6.4.1. **Optimização energética dos elementos de fachada**

Um aspecto essencial na optimização energética de elementos de fachada exteriores é a eficácia relativa, em termos económicos, do incremento de isolamento. Para a previsão da espessura óptima de isolamento nas paredes onde este tipo de estudo fazia sentido (duplas ou com isolamento exterior ou interior) foi utilizado o modelo de Robinson, apresentado no Capítulo II, através da expressão 2.2.1. Aplicando a expressão à parede de referência a utilizar na CET 2 – Convencional - (Figura 6.4.1) obtêm-se os valores da Tabela 6.4.1, na qual, variando a espessura de isolamento, retira-se o valor da economia proporcionada pelo isolamento (Tabela da Figura 6.4.1). No Anexo 5 apresenta-se o mesmo estudo para as restantes paredes. As espessuras obtidas resumem-se na Tabela 6.4.2. As secções construtivas das paredes apresentam-se no Anexo 2

Tabela 6.4.1. Aplicação do modelo de Robinson para o cálculo da espessura óptima de isolamento na Parede PD1.2/15

Bi [€]	Bp [€]	w	N [ano]	Aj [m²]	f	Rj [m².°C/w]	Ri [m².°C/w]	DT [°C]	T [h/ano]	De [€/kwh]	R
8,460	0	1	50	5,64	1	0,954	0,286	18,7	5177	0,0000965	1
16,412	0	1			0,95	0,954	0,572				
24,816	0	1			0,90	0,954	0,858				
32,825	0	1			0,80	0,954	1,144				
41,172	0	1			0,70	0,954	1,430				
49,068	0	1			0,60	0,954	1,716				
57,528	0	1			0,50	0,954	2,002				
65,424	0	1			0,40	0,954	2,288				
73,884	0	1			0,20	0,954	2,574				
82,344	0	1			0,10	0,954	2,860				

Tabela 6.4.2. Espessura óptima do isolamento térmico em paredes de fachada segundo o modelo de Robinson

Parede tipo	Espessura óptima
PMD2.1/15	5cm
PD1.2/15	4cm
PS2.3	4cm
PS3.3	5cm
PS5.3	5cm
PD5.2	4cm
PMD5.1	5cm
PT1	6cm
PT2	5cm
PT(L)3.1	8cm

Para as paredes seleccionadas, utilizando a espessura óptima de isolamento, foi avaliado qual seria o seu custo global, considerando que estariam colocadas na CET 2 - Convencional, em Euros por metro quadrado de área útil de pavimento.

Os valores de custo económico-energético final apresentados, englobam todos os outros componentes das células, tais como lajes de piso e cobertura, envidraçados e estufa, os quais se mantêm inalterados, excepto quando, por exemplo, por a parede ter uma maior espessura que a parede de referência, terá de se incrementar a área de laje de pavimento e cobertura, bem como o custo do terreno.

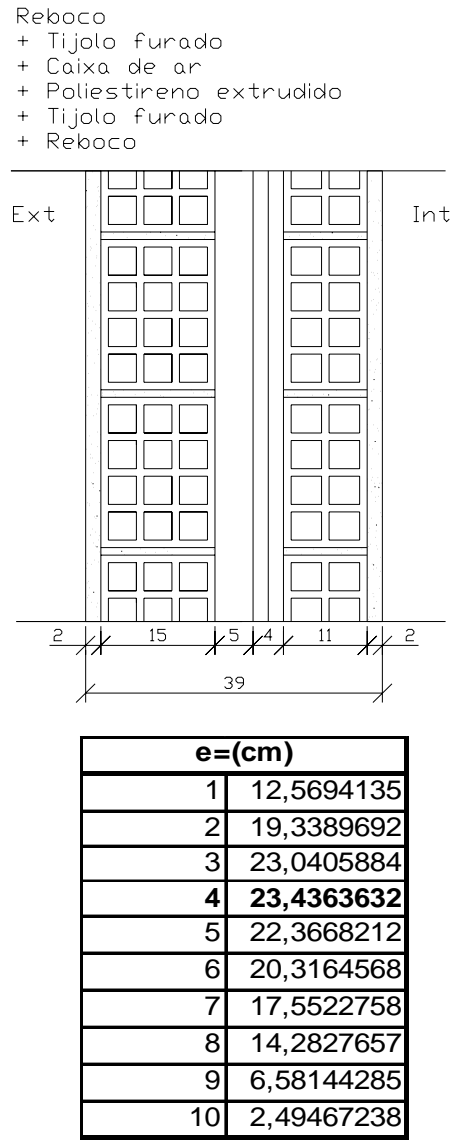


Figura 6.4.1. Esquema da parede de referência utilizada nas Células de Teste e respectiva espessura óptima de isolamento

A questão do menor custo económico, bem como ambiental, foi o aspecto essencial na escolha final das soluções que posteriormente foram integradas na CET 1 - Proposta (que apresentam uma redução nos valores de energia incorporada de produção que pode ultrapassar os 50%). Por exemplo a parede simples de adobe (PS3.1), apesar de constituir uma das melhores soluções em termos de baixo custo energético global, não apresenta características de resistência e durabilidade adequadas ao tipo de clima do Norte de Portugal. Optou-se por introduzir nesta solução um outro pano exterior, de protecção e acabamento, com uma caixa-de-ar ventilada, que permite a melhor conservação do isolamento (por exemplo quando este é um isolamento orgânico – cortiça, do material do pano exterior - aglomerado de fibras de madeira com cimento, bem como do adobe. Obteve-se assim uma Parede Mista Dupla (PMD2.1/15).

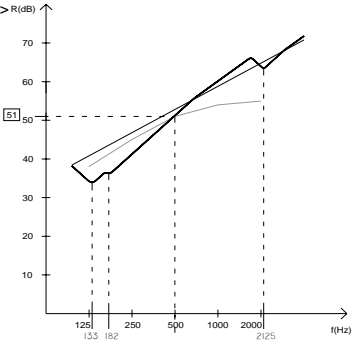
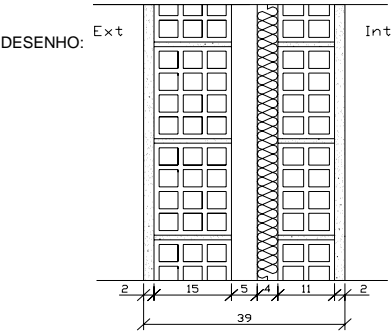
Apresenta-se aqui apenas a ficha da parede de referência PD1.2/15 e das paredes seleccionadas para a CET Proposta - PMD2.1/15 e PT(L)3.1. Ainda que estas não fossem, em termos absolutos, as soluções de menor custo global, a ligeira diferença que apresentavam relativamente às outras soluções devia-se essencialmente ao facto de terem a caixa-de-ar exterior ventilada, sendo por isso soluções com melhores características de durabilidade, pelo que foram as seleccionadas.

A utilização da parede PMD2.1/15 em toda a CET Proposta, seria mais vantajosa sob o ponto de vista de energia incorporada da parede, mas iria ser menos vantajosa sob o ponto de vista de energia incorporada da estrutura, já que obrigaria a uma estrutura de betão armado, em vez de madeira, o que não iria compensar no cômputo global. A razão para a adopção da parede PT(L)3.1 na zona leve prendeu-se essencialmente com o facto de, entre as paredes adequadas a estruturas leves de madeira ou metálicas, ser esta a que oferece garantias de maior durabilidade. Os valores referidos não reflectem, por si só, as potencialidades globais da utilização da parede leve numa solução totalmente leve, já que se inseriram numa solução de laje e cobertura pesadas. O custo económico e energético de construção numa solução leve será sempre muito inferior ao duma solução pesada, não apenas pelas paredes de fachada, mas pelos restantes elementos construtivos, nomeadamente os elementos estruturais quando em materiais eficiente na relação entre peso e energia incorporada, como a madeira. Isto explica a opção por uma solução mista, onde a parte pesada apenas se destina a compensar a deficiente capacidade de armazenamento térmico da solução leve. A escolha das paredes reflecte assim igualmente esta estratégia e não apenas os valores quantificados e seguidamente apresentados.

O isolamento sonoro a sons de condução aérea ($D_{n,w}$) das diversas soluções de parede foi também um factor tido em conta na selecção das soluções construtivas a implementar na CET Proposta, sendo por essa razão apresentado nas Fichas Técnicas.

FICHA TÉCNICA DA PAREDE

NOME:	PD1.2/15+11
TIPO:	Parede Dupla
CONSTITUIÇÃO:	Reboco 2 cm Tijolo furado 15 cm Caixa de ar 5 cm XPS 4 cm Tijolo furado 11 cm Reboco 2 cm
ESPESSURA:	39 cm
PESO ESPECÍFICO:	313 kg/m ²
COEFICIENTE U:	0,49 W/m ² .°C
ISOLAMENTO SONORO:	51 dB(A)
ENERGIA INCORPORADA:	910 kWh/m ²
CUSTO ECONÓMICO DA PAREDE:	63,35 €/m ²



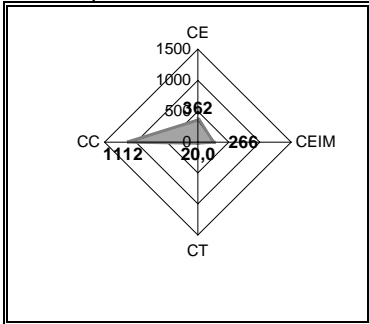
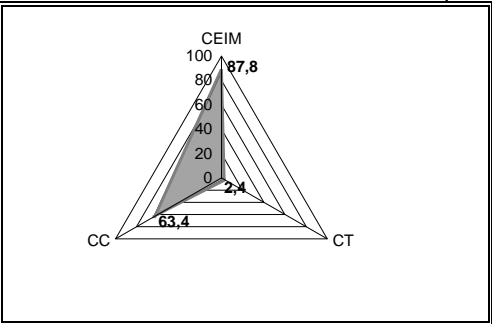
ESTUDO ECONÓMICO:

1º ESTUDO

A partir da aplicação do RCCTE a um compartimento de habitação tipo (Célula de Teste de Referência) e aplicando esta parede obtiveram-se os seguintes resultados, por m² de área útil de Pavimento.

	PAREDE (isolada)	PAREDE (compartimento da habitação tipo)
CUSTO ENERGÉTICO (NI)	€/m ²	
CUSTO ENERGÉTICO INCORPORADO NOS MATERIAIS	191,9	87,8 €/m ²
CUSTO DE TRANSPORTE	5,3	2,4 €/m ²
CUSTO DE CONSTRUÇÃO	138,4	63,4 €/m ²
CUSTO TOTAL	335,6	153,6 €/m ²

COMPARTIMENTO DA HABITAÇÃO TIPO (parede + restantes elementos construtivos)	PESO RELATIVO DA PAREDE NO CUSTO DO COMPARTIMENTO DA HABITAÇÃO TIPO
362 €/m ²	-
266 €/m ²	33%
20,0 €/m ²	12%
1112 €/m ²	6%
1760 €/m ²	11%



LEGENDA: ■ Em Estudo □ Referência
CE - CUSTO ENERGÉTICO (Necessidades de Aquecimento) [€/m²]
CEIM - CUSTO ENERGÉTICO INCORPORADO NOS MATERIAIS [€/m²]
CT - CUSTO DE TRANSPORTE [€/m²]
CC - CUSTO DE CONSTRUÇÃO [€/m²]

NECESSIDADES DE AQUECIMENTO (NI)	73,22 kWh/m ² .ano
ÁREA ÚTIL DE PAVIMENTO	14,98 m ²

2º ESTUDO

Para este estudo considerou-se que a Área útil interior iria manter-se constante, com a variação da espessura da parede. Assim o aumento da área exterior resulta num aumento da área de terreno a adquirir, assim como da área de laje de cobertura e da laje

*Custo Médio de Terreno considerado		500 €/m²
	Solução de referência	Parede em estudo
Área	20,32	20,32
Custo do Terreno*	10160	10160
Custo da Laje de Pavimento	1277	1277
Custo da Laje de Cobertura	1149	1149
Custo Total	12585	12585
Custo Total/m² de Área útil de pavimento	840,37	840,37
Diferença para solução de referência	-	0,00
% de Variação do Custo	-	0%
Custo final Célula de Teste com PD1.2_15	-	2438,88

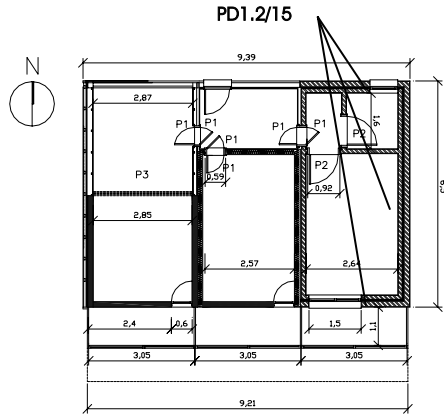
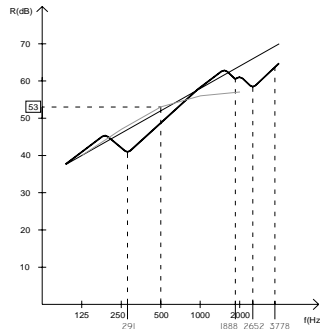
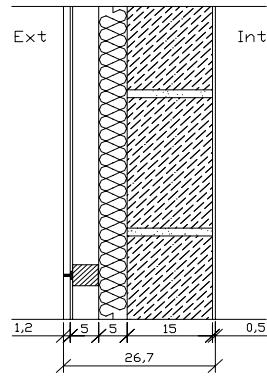


Figura 6.4.2. Localização da Parede PD1.2/15

FICHA TÉCNICA DA PAREDE

NOME:	PMD2.1/15
TIPO:	Parede Mista Tripla
CONSTITUIÇÃO:	Aglomerado 1,2 cm Madeira/cimento 4 cm Caixa-de-ar 4 cm Aglomerado Negro de Cortiça 5 cm Alvenaria de Adobe 15 cm Cal 0,5 cm
ESPESSURA:	25,7 cm
PESO ESPECÍFICO:	257 kg/m ²
COEFICIENTE U:	0,44 W/m ² .°C
ISOLAMENTO SONORO:	53 dB(A)
ENERGIA INCORPORADA:	171 kWh/m ²
CUSTO ECONÓMICO DA PAREDE:	46,55 €/m ²

DESENHO:



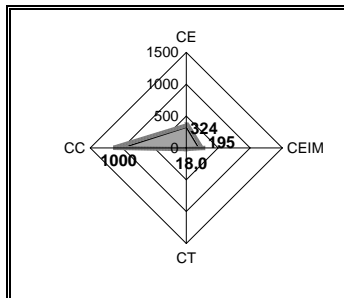
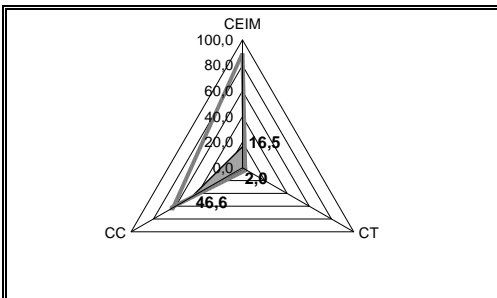
ESTUDO ECONÓMICO:

1º ESTUDO

A partir da aplicação do RCCTE a um compartimento de habitação tipo (Célula de Teste de Referência) e aplicando esta parede obtiveram-se os seguintes resultados, por m² de área útil de Pavimento.

	PAREDE (isolada)	PAREDE (compartimento da habitação tipo)
CUSTO ENERGÉTICO (NI)	€/m ²	
CUSTO ENERGÉTICO INCORPORADO NOS MATERIAIS	32,8	16,5 €/m ²
CUSTO DE TRANSPORTE	4,0	2,0 €/m ²
CUSTO DE CONSTRUÇÃO	92,5	46,6 €/m ²
CUSTO TOTAL	129,2	65,0 €/m ²

COMPARTIMENTO DA HABITAÇÃO TIPO (parede + restantes elementos construtivos)	PESO RELATIVO DA PAREDE NO CUSTO DO COMPARTIMENTO DA HABITAÇÃO TIPO
324 €/m ²	-
195 €/m ²	8%
18,0 €/m ²	11%
1000 €/m ²	5%
1537 €/m ²	5%



LEGENDA:

■ Em Estudo

□ Referência

CE - CUSTO ENERGÉTICO (Necessidades de Aquecimento) [€/m²]
 CEIM - CUSTO ENERGÉTICO INCORPORADO NOS MATERIAIS [€/m²]
 CT - CUSTO DE TRANSPORTE [€/m²]
 CC - CUSTO DE CONSTRUÇÃO [€/m²]

NECESSIDADES DE AQUECIMENTO (NI)	66 kWh/m ² .ano
ÁREA ÚTIL DE PAVIMENTO	16,47 m ²

2º ESTUDO

Para este estudo considerou-se que a Área útil interior iria manter-se constante, com a variação da espessura da parede. Assim o aumento da área exterior resulta num aumento da área de terreno a adquirir*, assim como da área de cobertura e da laje de pavimento.

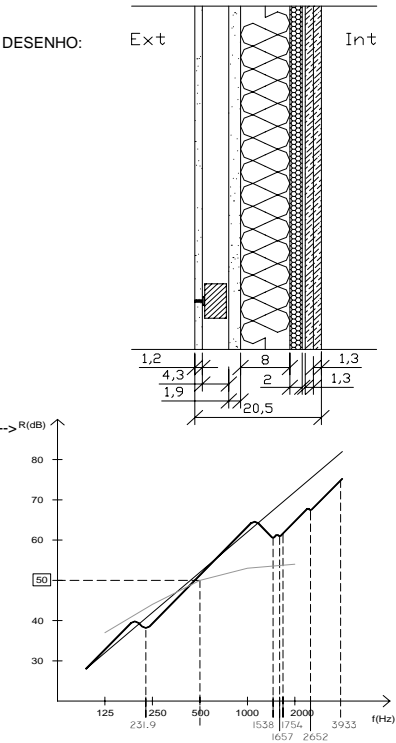
*Custo Médio de Terreno considerado	500 €/m ²
-------------------------------------	----------------------

	Solução de referência	Parede em estudo	
Área	20,32	19,99	m ²
Custo do Terreno	10160	9995	€
Custo da Laje de Pavimento	1277	1265	€
Custo da Laje de Cobertura	1149	1138	€
Custo Total	12585	12398	€
Custo Total/m ² de Área útil de pavimento	764,18	752,79	€/m ²
Diferença para solução de referência	-	-11,39	€/m ²
% de Variação do Custo	-	-1,5%	

Custo final Célula de Teste com PMD2.1/15	-	2144,12	€/m ²
---	---	---------	------------------

FICHA TÉCNICA DA PAREDE

NOME:	PT(L)3.1
TIPO:	Parede Mista Tripla
CONSTITUIÇÃO:	<div><div>Aglomerado</div><div>Madeira/cimento</div><div>Caixa-de-ar</div><div>Aglomerado</div><div>Madeira/cimento</div><div>Aglomerado Negro de Cortiça</div><div>Fibra de Côco</div><div>Gesso Cartonado</div></div> <div><div>1,2 cm</div><div>5 cm</div><div>1,9 cm</div><div>5 cm</div><div>2 cm</div><div>2,6 cm</div></div>
ESPESSURA:	20,5 cm
PESO ESPECÍFICO:	79 kg/m²
COEFICIENTE U:	0,40 W/m².°C
ISOLAMENTO SONORO:	50 dB(A)
ENERGIA INCORPORADA:	442 kWh/m²
CUSTO ECONÓMICO DA PAREDE:	85,9 €/m²



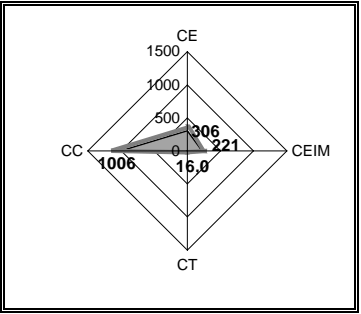
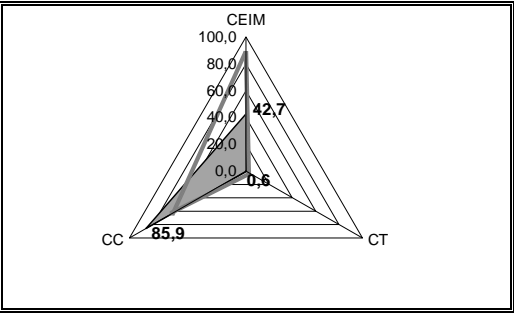
ESTUDO ECONÓMICO:

1º ESTUDO

A partir da aplicação do RCCTE a um compartimento de habitação tipo (Célula de Teste de Referência) e aplicando esta parede obtiveram-se os seguintes resultados, por m² de área útil de Pavimento.

	PAREDE (isolada)	PAREDE (compartimento da habitação tipo)
CUSTO ENERGÉTICO (NI)	€/m2	
CUSTO ENERGÉTICO INCORPORADO NOS MATERIAIS	81,7	42,7 €/m²
CUSTO DE TRANSPORTE	1,2	0,6 €/m²
CUSTO DE CONSTRUÇÃO	164,6	85,9 €/m²
CUSTO TOTAL	247,5	129,2 €/m²

COMPARTIMENTO DA HABITAÇÃO TIPO (parede + restantes elementos construtivos)	PESO RELATIVO DA PAREDE NO CUSTO DO COMPARTIMENTO DA HABITAÇÃO TIPO
306 €/m²	-
221 €/m²	19%
16,0 €/m²	4%
1006 €/m²	9%
1549 €/m²	10%



LEGENDA: ■ Em Estudo □ Referência
CE - CUSTO ENERGÉTICO (Necessidades de Aquecimento) [€/m2]
CEIM - CUSTO ENERGÉTICO INCORPORADO NOS MATERIAIS [€/m2]
CT - CUSTO DE TRANSPORTE [€/m2]
CC - CUSTO DE CONSTRUÇÃO [€/m2]

NECESSIDADES DE AQUECIMENTO (NI)	62 kWh/m².ano
ÁREA ÚTIL DE PAVIMENTO	17,07 m²

2º ESTUDO

Para este estudo considerou-se que a Área útil interior iria manter-se constante, com a variação da espessura da parede. Assim o aumento da área exterior resulta num aumento da área de terreno a adquirir*, assim como da área de laje de cobertura e da laje

*Custo Médio de Terreno considerado	500 €/m2
-------------------------------------	----------

	Solução de referência	Parede em estudo	
Area	20,32	19,88	m²
Custo do Terreno*	10160	9940	€
Custo da Laje de Pavimento	1277	1261	€
Custo da Laje de Cobertura	1149	1134	€
Custo Total	12585	12335	€
Custo Total/m2 de Área útil de pavimento	737,19	722,55	€/m²
Diferença para solução de referência	-	-14,64	€/m²
% de Variação do Custo	-	-2,0%	
Custo final Célula de Teste com PT(L)3.1	-	2131,54	€/m²

Nas Tabelas 6.4.3 a 6.4.9 são apresentados os valores dos custos finais da CET 2 para cada tipo de parede, integrando todos os custos considerados (os consumos energéticos foram convertidos em custo económico). Os cálculos e valores parciais apresentam-se no Anexo 3 e as secções construtivas das paredes no Anexo 2. Apresentam-se também os Índices de Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea para cada uma das paredes estudadas, pois este foi o único parâmetro que não se conseguiu converter em custo económico, pelo que funcionou como factor de desempate, ou mesmo como factor de eliminação.

Tabela 6.4.3. Custo final da CET 2 com Paredes simples pesadas sem isolamento

Parede tipo	$D_{n,w}$ [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 (€/m ² a.u.p.)
PS1.1/15	55	3033,42
PS1.1/20	57	3054,64
PS1.1/40	62	3241,19
PS2.1/11	45	2850,26
PS3.1/15	49	2092,09
PS3.1/40	56	2329,28
PS4.1/15	54	2955,29
PS4.1/20	57	2950,63
PS5.1/11	44	2512,08
PS5.1/15	45	2456,24
PS5.1/22	55	2467,50

Tabela 6.4.4. Custo final da CET 2 com Paredes simples pesadas com isolamento interior

Parede tipo	$D_{n,w}$ [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 (€/m ² a.u.p.)
PS1.2/40	66	2617,51
PS2.2/11	48	2156,96
PS4.2/20	61	2270,77
PS5.2/22	57	2296,19

Tabela 6.4.5. Custo final da CET 2 com Paredes simples pesadas com isolamento exterior

Parede tipo	$D_{n,w}$ [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 (€/m ² a.u.p.)
PS1.3/20	57	2330,51
PS3.3/15	50	2109,27
PS3.3/20	52	2170,67
PS4.3/20	56	2326,21
PS5.3/22	53	2303,83

Tabela 6.4.6. Custo final da CET 2 com Paredes duplas pesadas sem isolamento

Parede tipo	$D_{n,w}$ [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 (€/m ² a.u.p.)
PD1.1	50	2451,85
PD2.1	51	2483,34
PD3.1	55	2787,76

Tabela 6.4.7. Custo final da CET 2 com Paredes duplas pesadas com isolamento

Parede tipo	$D_{n,w}$ [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 (€/m ² a.u.p.)
PD1.2/11	51	2355,84
PD1.2/15	51	2438,88
PD2.2	52	2378,11
PD3.2	53	2481,87
PD5.2	52	2397,55

Tabela 6.4.8. Custo final da CET 2 com Paredes mistas multi-camadas

Parede tipo	$D_{n,w}$ [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 (€/m ² a.u.p.)
PMD4	53	2439,07
PMD2.1/15	53	2139,02

Tabela 6.4.9. Custo final da CET 2 com Paredes leves multi-camadas

Parede tipo	$D_{n,w}$ [dB(A)]	Custo total da Parede na CET 2 (€/m ² a.u.p.)
PL1.1	46	2378,67
PL1.1/2G	47	2374,05
PT(L)3.1	50	2124,47

6.4.2. Optimização energética global da construção – análise com base nas Células de Teste

Com base na configuração definida para as paredes das CET, foi feito um estudo comparativo da construção no seu todo, onde foram focados dois aspectos diferentes: a redução dos consumos de energia pela utilização optimizada dos ganhos solares passivos, avaliado segundo o modelo do RCCTE (este tipo de avaliação já foi feito no estudo apresentado na secção anterior, mas nesse caso apenas considerada a influência da parede, mantendo-se os restantes elementos construtivos iguais à CET Convencional) e a pesquisa sobre a optimização do consumo de energia incorporada nos materiais de construção e seu transporte.

Para uma poupança energética a longo prazo, é necessário mais do que um correcto desenho das fachadas. Em países com uma amplitude térmica anual e diária que oscila abaixo e acima da temperatura de conforto, como em Portugal (entre uma temperatura mínima de $-2,5^{\circ}\text{C}$ e uma temperatura máxima de 35°C), e com uma amplitude térmica diária média de 10°C , a inércia térmica é ainda mais importante do que a capacidade de isolamento, pois a ausência de massa térmica resulta numa rápida descida da temperatura interior durante a noite e um aumento da mesma durante o dia. A utilização de soluções combinadas de ventilação e armazenamento térmico, nomeadamente com a aplicação de Paredes de Trombe, são métodos que aproveitam o aquecimento natural na época fria, quando exista radiação solar suficiente.

Na solução proposta, a área de trabalho recebe iluminação natural através de uma janela translúcida (em policarbonato alveolar e caixilho de madeira) orientada a Norte. Esta grande área de envidraçado permite uma maior uniformidade de iluminação natural, mas no entanto provoca uma maior flutuação da temperatura interior nesse espaço, razão pela qual se espera ter uma ocupação essencialmente diurna (área de trabalho). Prevê-se que a zona pesada da CET 1 tenha uma menor flutuação da temperatura interior e, quando a divisória de separação esteja fechada, durante a noite, a variação da temperatura seja menor do que na zona Norte da mesma CET e seja pelo menos equivalente à CET 2. As necessidades de arrefecimento não são tão relevantes no clima desta zona de Portugal e assim não foram consideradas (a zona de estudo é Guimarães – não sendo muito distante do litoral, ainda se sente a influência marítima). As necessidades energéticas globais de aquecimento foram estimadas utilizando o método proposto pelo CSTB (CSTB 1998), sendo os valores resultantes comparados com outros aspectos energéticos – energia incorporada dos materiais de construção (PEC) e transporte de materiais.

A Tabela 6.4.10 apresenta a energia incorporada nos materiais utilizados na CET 1 e na CET 2. Da análise desta tabela, pode referir-se que em ambas as CET, os caixilhos de alumínio, embora leves, possuem uma PEC muito alta, mas tal facto revela-se percentualmente mais significativo na CET 1. O Alumínio foi utilizado

nesta solução apenas com o objectivo específico da mobilidade das janelas (possuem um movimento telescópico horizontal de forma a estudar a influência da profundidade da estufa adossada nos ganhos térmicos – comparando com paredes acumuladoras, como foi referido anteriormente). Outros materiais para a execução da caixilharia da estufa não seriam apropriados para uma solução telescópica, nomeadamente devido ao peso próprio e maiores dilatações, que impediriam o funcionamento tão eficaz das ferragens. Numa situação real, poderia ser utilizado um caixilho de madeira no envidraçado frontal, com muito menor energia incorporada (ainda que pudesse apresentar outros problemas, como uma menor durabilidade). Estes valores estão apresentados entre parêntesis e pode observar-se que a substituição do alumínio por madeira permite que a PEC total sofra uma redução de 35,6% na solução proposta.

Da análise da Tabela 6.4.10 pode ver-se que na construção convencional, o tijolo furado e o betão possuem o maior peso na energia incorporada total, enquanto que na construção proposta o alumínio e o betão são os principais responsáveis pela PEC. A substituição do alumínio por madeira nas caixilharias, como já foi referido, seria uma hipótese facilmente exequível de reduzir substancialmente a PEC desta solução. Com esta substituição a redução da energia incorporada da CET Convencional para a CET Proposta é de 61%. Ainda que considerando as caixilharias da Estufa adossada de ambas as CET em alumínio, a redução da PEC conseguida é de 40%.

A redução no peso dos materiais da CET de Referência para a CET Proposta foi de 32%, mas essa redução não se reflecte necessariamente numa forma proporcional na PEC total. A redução de peso foi em grande parte nos componentes industrializados sem disponibilidade local, tais como o tijolo e o betão, assim, uma grande percentagem da redução foi devido ao custo associado ao transporte, principalmente por camião. Para o estudo do custo de transporte foi considerado que todos os materiais transportados percorriam uma distância de 100km. A distância média de transporte do adobe (terra argilosa compactada) foi considerada de 0km, já que se pressupõe que a terra seja um material de disponibilidade nas proximidades da obra ou no próprio local da obra. A não disponibilidade de terra argilosa na proximidade da obra poderia levar a reequacionar a sua utilização, em função da distância a percorrer, já que neste material o custo do transporte vai reflectir-se muito significativamente no custos globais finais da obra.

Na Tabela 6.4.11 pode ver-se que as paredes têm o maior impacto de todos os elementos construtivos, constituindo em qualquer uma das soluções mais de 50% da energia incorporada do edifício. Desta forma pode concluir-se a importância que a optimização dos elementos de fachada poderá ter na redução do impacto ambiental numa construção. Pode também verificar-se que o alumínio das caixilharias exteriores foi o maior responsável pela ainda grande PEC das paredes na CET Proposta, pelo que a sua substituição por madeira iria ser bastante positiva na redução da

energia incorporada desta CET, o que se pode ver na simulação efectuada nas Tabelas 6.4.12 e 6.4.13.

Tabela 6.4.10. Energia incorporada e peso dos materiais utilizados nas CET Proposta e Convencional, por tipo de material

CET 1 (Proposta) Materiais utilizados	Peso (kg)	kWh/kg	PEC(kWh)
Alumínio (comercial 30% reciclado)	200,00	44,48	8896,00
Betão	18344,80	0,33	6053,78
Placa de aglomerado de cimento / madeira	2161,35	1,08	2334,26
Aço comercial (20% reciclado)	681,32	2,78	1894,07
Isolamento (aglomerado de cortiça expandida)	884,40	1,11	981,68
Aço inoxidável	75,00	9,73	729,75
Borracha vulcanizada (selante de fixação exterior)	34,00	19,44	660,96
Vidro	106,80	5,11	545,75
Placa asfáltica ondulada de cobertura	112,50	4,05	455,63
Gesso cartonado	397,80	1,05	417,69
Polycarbonato alveolar	16,39	24,19	396,47
Madeira (pinho tratado localmente)	1971,27	0,18	354,83
Gesso projectado	306,00	1,05	321,30
Isolamento (fibra de côco)	57,80	3,90	225,42
Verniz sintético	9,50	21,55	204,73
Pavimento flutuante em madeira	107,10	1,39	148,87
Adobe	4995,00	0,03	134,87
Aglomerado de madeira	83,49	1,08	90,17
Pintura de Cal	144,00	0,28	40,03
Folha de polietileno expandido	1,53	24,19	37,01
Tinta plástica (com base aquosa)	3,60	5,56	20,02
Total (com caixilhos de alumínio na estufa adossada)	30693,65		24943,28
(caixilhos de madeira)	80,00	0,18	14,40
Total (com caixilhos de madeira na estufa adossada)	30573,65		16061,68
Área de pavimento 17m ²			
Total / m² (com calx. de madeira na estufa adoss.)	1798,45		944,81

CET 2 (Convencional) Materiais utilizados	Peso (kg)	(kWh/kg)	PEC(kWh)
Argila (tijolo furado)	9778,13	1,26	12320,44
Alumínio(comercial 30% reciclado)	250,00	44,48	11120,00
Betão	32411,60	0,33	10695,83
Aço (comercial 20% reciclado)	955,60	2,78	2656,57
Poliestireno extrudido (XPS)	54,00	27,86	1504,44
Aço inoxidável	75,00	9,73	729,75
Vidro	127,20	5,11	649,99
Placa asfáltica ondulada de cobertura	112,50	4,05	455,63
Gesso projectado	270,00	1,05	283,50
Polycarbonato alveolar	8,91	24,19	215,53
Placa de Aglomerado (betão / madeira)	153,90	1,08	166,21
Madeira (pinho tratado localmente)	851,13	0,18	153,20
Pavimento flutuante em madeira	94,50	1,39	131,36
Tinta plástica (com base aquosa)	11,70	5,56	65,05
Aglomerado de madeira	40,32	1,08	43,55
Verniz sintético	1,70	21,55	36,64
Folha de polietileno expandido	1,35	24,19	32,66
Total	45197,54		41260,33
Área de pavimento 15m ²			
Total / m²	3013,17		2750,69

Tabela 6.4.11. Energia incorporada e peso dos materiais utilizados nas CET Proposta e Convencional, por posicionamento dos elementos

CET 1 (Proposta) Custos por posicionamento dos elementos	Peso (kg)	PEC (kWh)
1 - Fundações	7210,64	2758,38
2 - Pavimentos	7010,14	3800,03
3 - Paredes, portas e envidraçados	9798,49	13525,96
4 - Tectos	5474,17	2603,91
5 - Coberturas	1200,21	2254,99
Total	30693,65	24943,28

CET 2 (Convencional) Custos por posicionamento dos elementos	Peso (kg)	PEC (kWh)
1 - Fundações	7210,64	2758,38
2 - Pavimentos	10194,28	4660,95
3 - Paredes, portas e envidraçados	17702,41	27916,70
4 - Tectos	8890,00	3669,31
5 - Coberturas	1200,21	2254,99
Total	45197,54	41260,33

Tabela 6.4.12. Energia incorporada e peso dos materiais utilizados nas fachadas e divisórias interiores das CET

CET 1 (Proposta) Paredes, portas e envidraçados	Peso (kg)	(kWh/kg)	PEC(kWh)
Alumínio	200,00	44,48	8896,00
Aglomerado madeira/cimento	1296,00	1,08	1399,68
Betão	1728,00	0,33	570,24
Vidro	106,80	5,11	545,75
Borracha juntas placas exteriores	25,00	19,44	486,00
Gesso cartonado	397,80	1,05	417,69
Isolamento térmico aglomerado cortiça expandida	200,40	1,11	222,44
Aço armaduras	65,94	2,78	183,31
Policarbonato alveolar	7,48	24,19	180,94
Verniz	7,60	21,55	163,78
Adobe	4995,00	0,03	134,87
Isolamento fibra de côco	23,80	3,90	92,82
Madeira local	515,48	0,18	92,78
Aglomerados	83,49	1,08	90,17
Cal apagada	144,00	0,28	40,03
Pintura a tinta plástica	1,70	5,56	9,45
Total (com caixilhos de alumínio)	9798,49		13526,96
(caixilhos de madeira)	80,00	0,18	14,40
Total (com caixilhos de madeira)	9678,49		4645,36

CET 2 (Convencional) Paredes, portas e envidraçados	Peso (kg)	(kWh/kg)	PEC(kWh)
Tijolo	9778,13	1,26	12320,44
Alumínio	250,00	44,48	11120,00
Betão/ argamassa de cimento	7354,00	0,33	2426,82
Isolamento térmico XPS paredes	36,00	27,86	1002,96
Vidro	127,20	5,11	649,99
Aço armaduras	106,56	2,78	296,24
Pintura a tinta plástica	10,20	5,56	56,71
Aglomerados	40,32	1,08	43,55
Total	17702,41		27916,70

Tabela 6.4.13. Energia incorporada e peso dos materiais utilizados nas fachadas e divisórias interiores da CET 1, por posicionamento dos elementos, com caixilharias de madeira

CET 1 (Proposta) Custos por posicionamento dos elementos	Peso (kg)	PEC (kWh)
1 - Fundações	7210,64	2758,38
2 - Pavimentos	7010,14	3800,03
3 - Paredes, portas e envidraçados	9678,49	4645,36
4 - Tectos	5474,17	2603,91
5 - Coberturas	1200,21	2254,99
Total	30573,65	16061,68

As Tabelas 6.4.14 e 6.4.15 apresentam um resumo da análise comparativa de custos energéticos e económicos entre as CET Proposta e Convencional.

Tabela 6.4.14. Custo económico de construção e de operação num ciclo de vida de 50 anos por metro quadrado de área de pavimento útil nas duas CET com estufa adossada

	Custo económico construção [€/m ²]	Custo com aquecimento anual [€/ano]	Custo económico com aquecimento na vida útil [€/m ²]	Custo económico total [€/m ²]
CET Proposta	1111	4,18	214	1325
CET Convencional	1267	7,89	404	1671

Em termos económicos, pode observar-se que a CET Proposta apresenta menores custos - cerca de 10%, em termos de custo inicial com a construção (incluindo materiais e mão-de-obra), o que se deve sobretudo à menor espessura das suas paredes que permite ganhar em termos de área útil de pavimento. É também ligeiramente mais económica em termos de custo global - cerca de 20%. Foi considerado um custo do kW de energia eléctrica de 0,0965 (EDP 2004) e uma taxa de inflação de 2,5% (IAPMEI 2004).

Tabela 6.4.15. Energia incorporada e de transporte nos materiais e custo energético com aquecimento num ciclo de vida de 50 anos, por metro quadrado de área de pavimento útil nas duas CET com estufa adossada

	Energia incorporada PEC [kWh/m ²]	Energia de transporte de materiais [kWh/m ²]	Energia incorporada + de transporte de materiais [kWh/m ²]	Consumo energético com aquecimento na vida útil [kWh/m ²]	Consumo energético global na vida útil [kWh/m ²]
CET Proposta	944,8	121,4	1066,2	2164	3230,2
CET Convencional	2750,7	241,9	2992,6	4088	7080,6

Em termos de energia pode observar-se que a solução proposta apresenta muito menor energia incorporada nos materiais de construção - 65% menos, em termos de transporte dos materiais para a obra -50% menos e em termos de custo com aquecimento durante o tempo de vida útil - 45% menos. O tempo de vida considerado para este estudo foi de 50 anos. Os custos de operação foram considerados apenas para as necessidades de aquecimento, com uma temperatura base de 18°C, e foi considerado que são utilizados radiadores eléctricos de parede. O gasto energético global de construção + transporte e consumos com aquecimento previstos são cerca de 65% inferiores na CET Proposta do que na CET Convencional. Note-se que em certas regiões de Portugal seria preferível a construção em pedra à de adobe, mas o valor final médio seria muito similar uma vez que estes materiais apresentam a mesma PEC em disponibilidade local das matérias-primas.

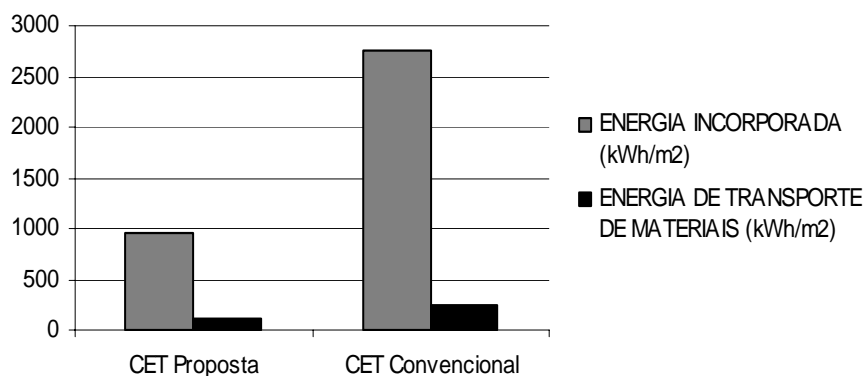


Figura 6.4.3. Comparação entre a energia incorporada e de transporte dos materiais utilizados nas Células de Teste (valores específicos)

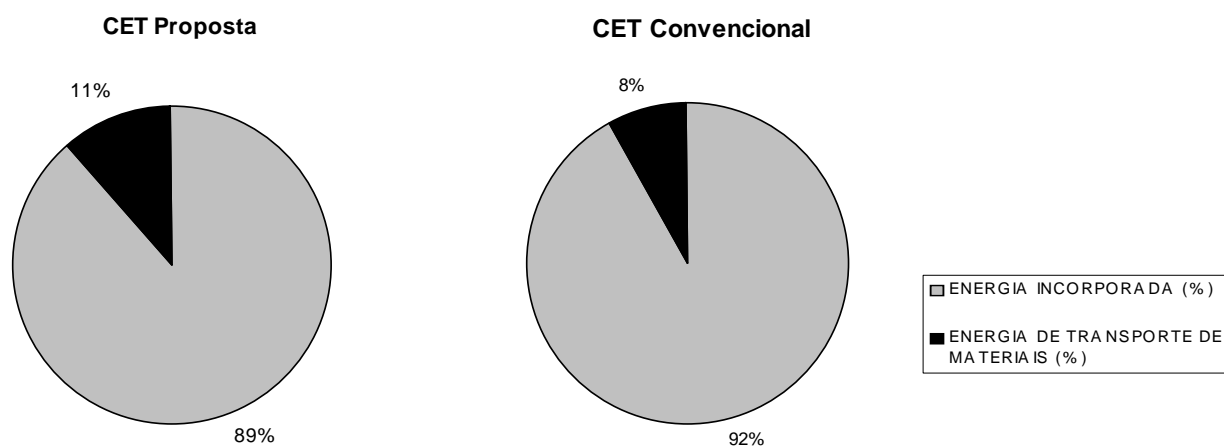


Figura 6.4.4. Peso relativo da energia incorporada e de transporte dos materiais utilizados nas Células de Teste (valores percentuais)

Nos gráficos das Figuras 6.4.3 e 6.4.4 pode ver-se que a energia incorporada nos materiais é muito mais significativa que a energia de transporte dos materiais para a obra. Será no entanto de ter em conta o facto de que o custo do transporte das matérias-primas para o fabrico dos materiais estar já incluído no valor da energia incorporada, pelo que a redução do peso é sempre importante para a redução da energia incorporada, mesmo antes do transporte para a obra.

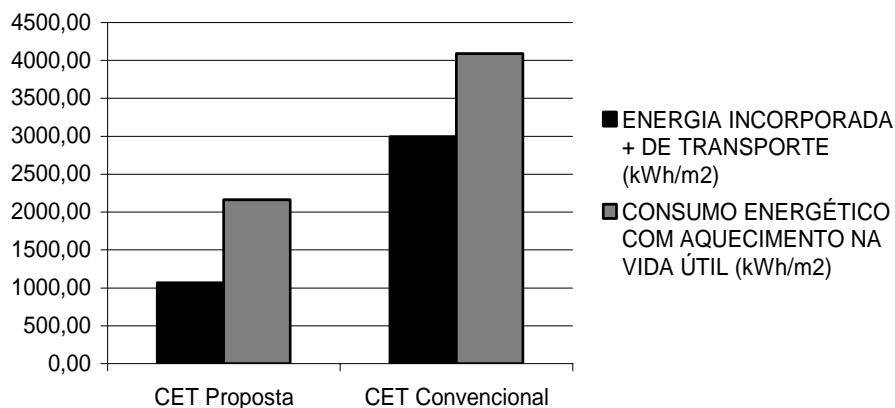


Figura 6.4.5. Comparação entre a energia incorporada + transporte dos materiais e o consumo energético com aquecimento durante uma vida útil de 50 anos nas CET (valores específicos)

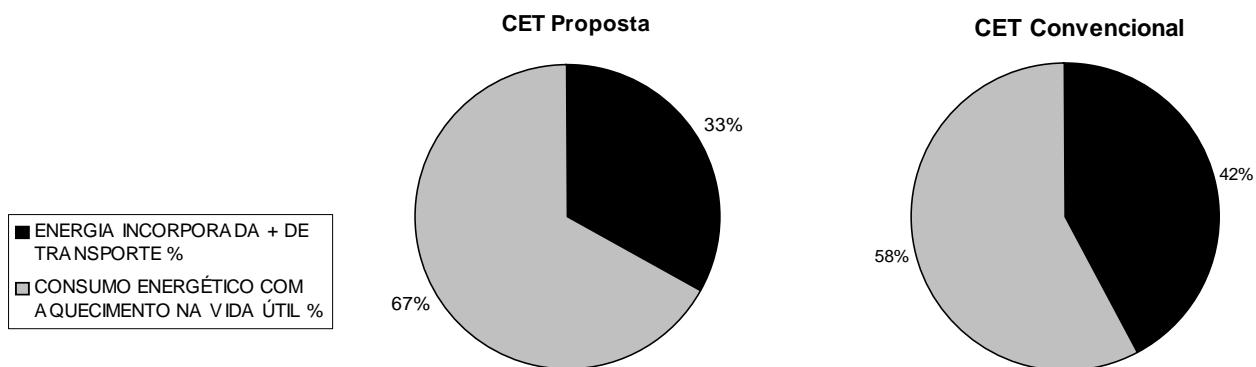


Figura 6.4.6. Peso relativo da energia de operação (Necessidades globais de aquecimento) e a energia incorporada global (PEC + transporte) nas CET (valores percentuais)

Pode verificar-se pela análise do gráfico da Figura 6.4.5 que, na CET convencional, o valor absoluto da energia incorporada + transporte dos materiais de construção é quase três vezes superior ao obtido para a CET Proposta, enquanto que a energia necessária para aquecimento se consegue reduzir a menos de metade. Pode verificar-se pela análise do gráfico da Figura 6.4.6 que a quantidade de energia que entra na produção dos materiais (PEC) e no transporte dos mesmos para a obra, no caso do estudo efectuado nas CET, atinge valores de 33% na CET Proposta a 42% na CET convencional do total da energia incluindo 50 anos de energia de aquecimento. Isto significa que o potencial de optimização no caso da energia incorporada e de transporte, devido à estratégia de redução de peso, é muito significativo.

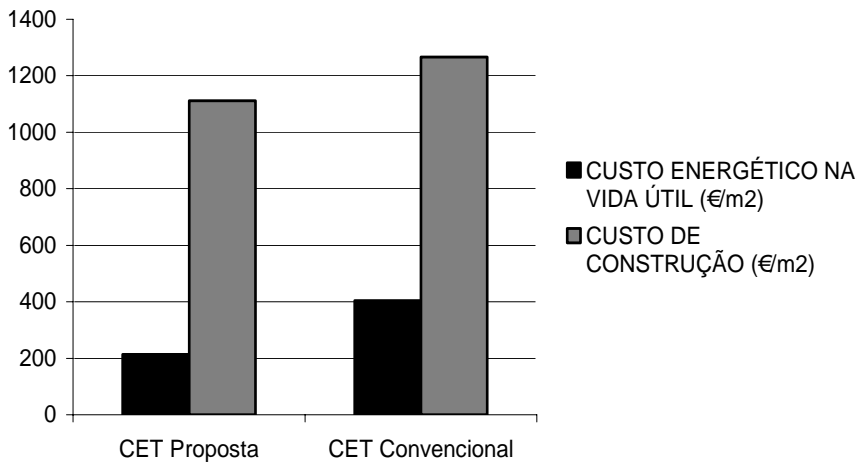


Figura 6.4.7. Comparação entre o custo energético na vida útil (gastos com aquecimento durante 50 anos) e o custo de construção (inclui materiais, transporte e mão-de-obra) (valores em €/m²)

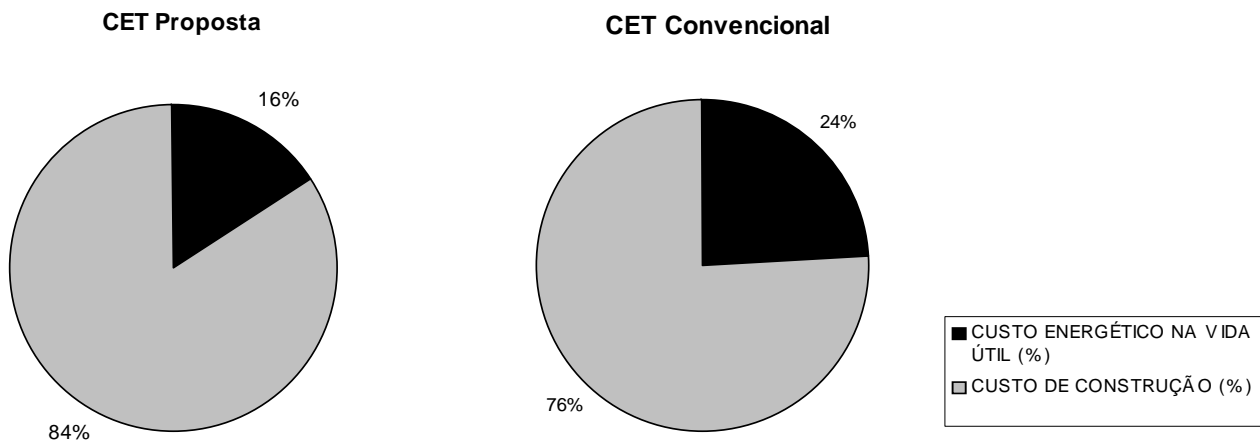


Figura 6.4.8. Peso relativo do custo energético na vida útil (gastos com aquecimento durante 50 anos) e o custo de construção (inclui materiais, transporte e mão-de-obra) (valores percentuais)

Este estudo mostra as potencialidades associadas à utilização de materiais leves combinados com materiais pesados locais para acumulação térmica, de forma a obter um bom compromisso entre os aspectos ambientais, de conforto e económicos. A solução proposta também se revela de mais fácil desmantelamento e os materiais são quase todos reutilizáveis ou recicláveis, com excepção da estrutura em betão da parte pesada, se comparados com o sistema construtivo utilizado na solução convencional – estrutura em betão, laje de betão armado aligeirada em pavimentos e coberturas e paredes duplas em tijolo furado. O exemplo apresentado nas Figuras 6.4.7. e 6.4.8 mostra que o impacto ambiental devido ao Consumo Energético Incorporado nos materiais (PEC) da CET 1 (proposta), obtido nas medições pode chegar a ser 65% inferior, quando comparado com a solução convencional da CET 2, mesmo com um custo económico similar (até mesmo ligeiramente mais baixo).

Com a evolução que os sistemas e materiais leves têm tido no passado recente, nomeadamente na sua durabilidade e resistência mecânica, ainda existe um longo caminho a percorrer até que estas soluções possam ser aceites em larga escala. No

entanto, a mistura de materiais leves com materiais pesadas em sistemas mistos (MBT) será algo mais exequível, já que mais facilmente poderão ser aceites pelo mercado actual da construção, além de apresentarem um melhor desempenho em termos de conforto higrotérmico e acústico do que as soluções exclusivamente leves.

Os resultados obtidos vêm provar que as soluções MBT aqui apresentadas e estudadas são compatíveis com a introdução de tecnologias solares passivas, que em muitos casos se baseiam também neste princípio. Pode assim concluir-se que as casas bioclimáticas em Portugal e em geral nos países de climas temperados do Sul da Europa podem ser concebidas duma forma ainda mais sustentável, não incidindo apenas na optimização do seu desempenho higrotérmico, mas também na redução da energia incorporada dos materiais.

6.5. Desempenhos Higrotérmico, da Iluminação Natural e Acústico, experimentais, das Células de Edifício Teste

6.5.1. Avaliação do desempenho higrotérmico

6.5.1.1. Plano de monitorização

A avaliação experimental do desempenho higrotérmico das Células de Edifício Teste (CET) requereu uma monitorização permanente durante um ano, a fim de obter dados de Inverno e de Verão. Em termos de desempenho energético, o Inverno é a estação que mais influencia os consumos energéticos das habitações, já que a maior parte dos gastos energéticos, nas zonas mais litorais do Norte de Portugal, dizem respeito aos sistemas de aquecimento.

Como este estudo foi realizado em compartimentos experimentais, não ocupados e sem ganhos internos, o desempenho higrotérmico de Inverno não reflecte necessariamente a realidade, já que as temperaturas obtidas numa situação de iguais características, mas com ocupação, iria ser ligeiramente mais favorável.

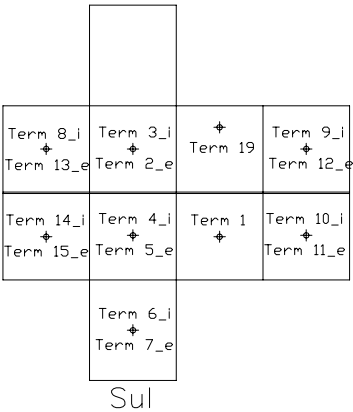
No Verão, pelo contrário, o resultado seria ligeiramente mais desfavorável, ainda que a intervenção dos ocupantes, em termos de ventilação nocturna pudesse equilibrar ou mesmo até tornar-se vantajosa. Durante o Verão em que os ensaios foram realizados (2004), as temperaturas foram relativamente mais baixas do que é normal neste período, tendo sido registadas as temperaturas mais elevadas durante o mês de Maio, pelo que se optou por utilizar medições obtidas neste mês para caracterizar a estação de arrefecimento. Foi igualmente utilizada uma medição efectuada no final do Verão, em Setembro.

No decorrer dos ensaios realizados não houve mudanças na abertura dos envidraçados, estando estes sempre fechados, quer de Verão quer de Inverno. É de salientar o facto de terem sido efectuadas medições com a divisória da CET Proposta fechada e aberta, já que se pretendeu comparar a Zona Sul da CET Proposta com a CET Convencional - de referência.

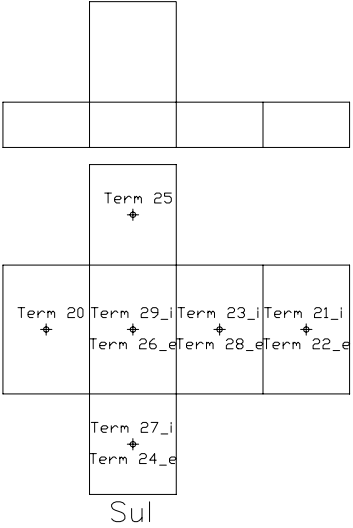
Os resultados apresentados neste estudo foram obtidos em campanhas de medição realizadas nas duas CET e na Célula Passys, efectuadas em períodos de 5 a 7 dias, representativos da Estação de Aquecimento - 17 a 23 de Janeiro de 2004 e 12 a 16 de Novembro - e de Arrefecimento - 14 a 20 de Maio de 2004 e 15 a 20 de Setembro de 2003.

A partir do sistema de medição instalado nas Células de Teste (cuja posição dos sensores se encontra representada nas Figuras 6.5.1 e 6.5.2), foi possível recolher dados referentes aos períodos referidos, sobre as temperaturas ambientes exterior e interior, humidade relativa, fluxos de calor através dos elementos verticais da envolvente, temperaturas superficiais das paredes e envidraçados, luminosidade e velocidade do ar, de forma a permitir avaliar todos os parâmetros com influência no conforto higrotérmico interior.

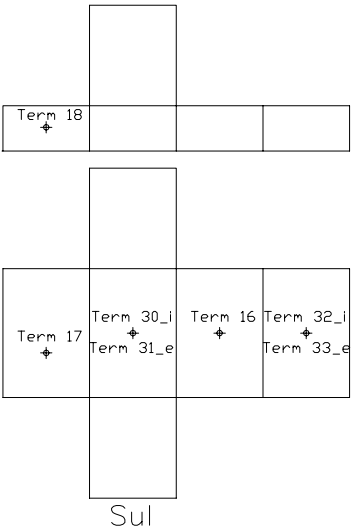
CÉLULA DE TESTE 1



CÉLULA DE TESTE 2



CÉLULA PASSYS



Legenda:
Term - Termopar (°C)
i - Colocado pelo interior
e - Colocado pelo exterior

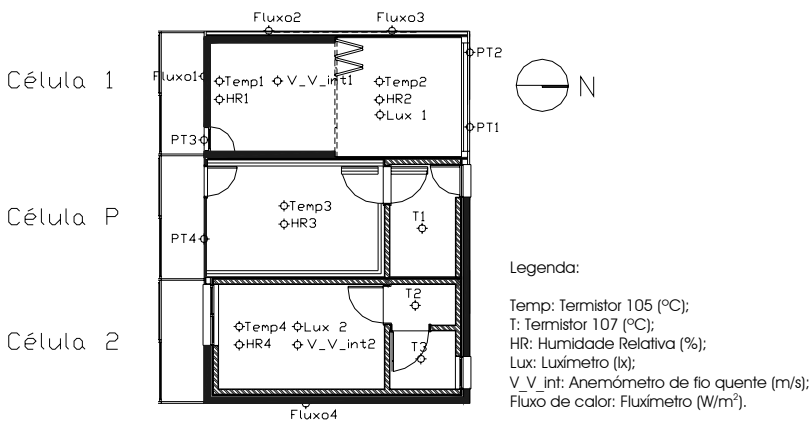


Figura 6.5.1. Planta das células de teste com o posicionamento das sensores de temperatura, humidade relativa e fluxos de temperatura interiores

Com os dados recolhidos foram elaborados gráficos na plataforma Excel, com o intuito de uma melhor análise e comparação dos valores recolhidos nos sensores em ambas as CET.

6.5.1.2. Temperatura Ambiente

A partir da análise dos gráficos de Temperatura Ambiente Interior das Células do Edifício de Teste durante o Inverno, é possível verificar que a CET Convencional consegue atingir pontualmente temperaturas ligeiramente mais próximas do conforto térmico, do que a CET Proposta. Com a divisória fechada na CET Proposta as diferenças são praticamente nulas para a zona Sul desta CET, especialmente durante a noite, que em condições reais de funcionamento numa habitação estaria quase sempre ocupada. Com a ocupação e o menor volume de ar desta zona, seria lógico esperar que se tornaria inclusivamente mais confortável, apenas com os ganhos internos naturais de ocupação.

Temperatura (°C)

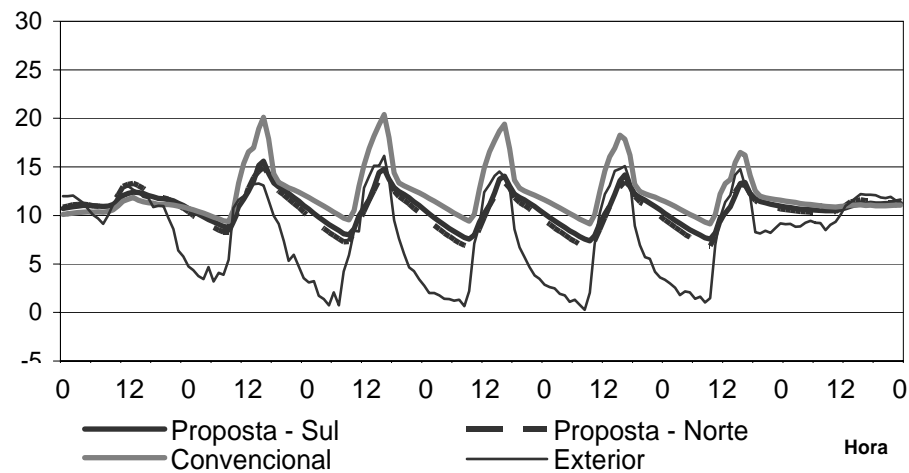


Figura 6.5.3. Temperatura ambiente de 17 a 23 de Janeiro de 2004 (Divisória da CET Proposta aberta)

Com a divisória interior da CET Proposta aberta, a diferença dos picos das temperaturas ambientes máximas desta CET para a CET Convencional é de cerca de 5°C, como se pode ver na Figura

Figura 6.5.2. Localização dos termopares para medição de temperaturas superficiais nas Células de Teste

6.5.3. As flutuações térmicas diárias são no entanto maiores na CET Convencional (10°C) do que na CET Proposta (7°C). A diferença nos valores de temperatura mínima foi de 2°C , nos dias em que existiam ganhos solares, não se tendo verificado diferença significativa nos dias encobertos. Durante este período de medição, a CET Convencional teve um melhor desempenho em termos de Temperatura Ambiente, com a temperatura interior do ar entre 10°C e 20°C , ou seja em média cerca de 5°C acima da temperatura exterior do ar. Isto deve-se ao facto desta Célula de Teste ter maiores ganhos solares directos. Em utilização, no entanto, os ocupantes tenderiam a proteger-se da radiação solar excessiva, pelo que estes ganhos provavelmente não seriam efectivos. Há apenas pequenas diferenças entre a parte Norte e Sul da CET Proposta, já que a divisória se encontrava aberta e por isso os ganhos solares indirectos não se manifestaram significativamente e as perdas de calor foram maiores.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

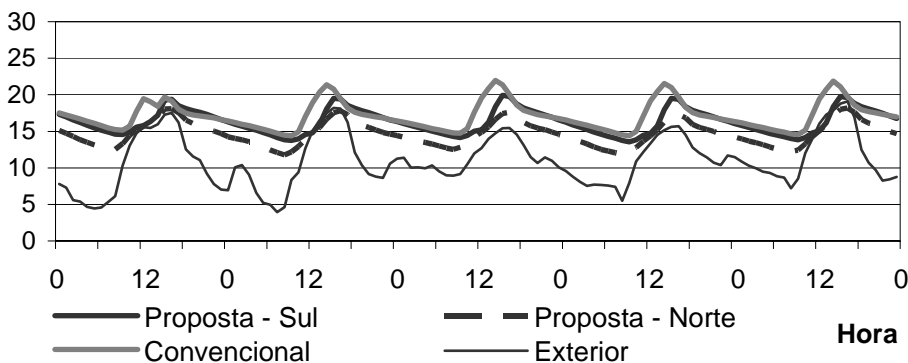


Figura 6.5.4. Temperatura ambiente de 12 a 16 de Novembro de 2004 (Divisória da CET Proposta fechada)

Com a divisória interior da CET Proposta fechada (Figura 6.5.4), a diferença de Temperatura Ambiente da zona Sul da CET Proposta para a CET Convencional nos picos mais elevados reduziu-se a apenas 2°C . Por outro lado verificou-se um maior desfasamento temporal na curva, o que se deve à maior relevância dos ganhos indirectos nesta zona da CET Proposta, o que é um aspecto positivo, que em situação real equipara as duas células.

As flutuações térmicas continuam a ser maiores na Célula Convencional (8°C) do que na Célula Proposta (6°C), sendo a diferença nos valores de temperatura mínima de apenas 1°C , nos dias em que existem ganhos solares e não existindo diferença significativa nos dias encobertos. No entanto, na zona Norte da CET Proposta, verifica-se uma descida das Temperaturas ambientes mínima e máxima de cerca de 2°C relativamente à zona Sul, mantendo-se a curva com a mesma configuração, o que lhe confere valores sensivelmente mais desfavoráveis do que na situação da divisória interior da CET Proposta aberta.

Temperatura (°C)

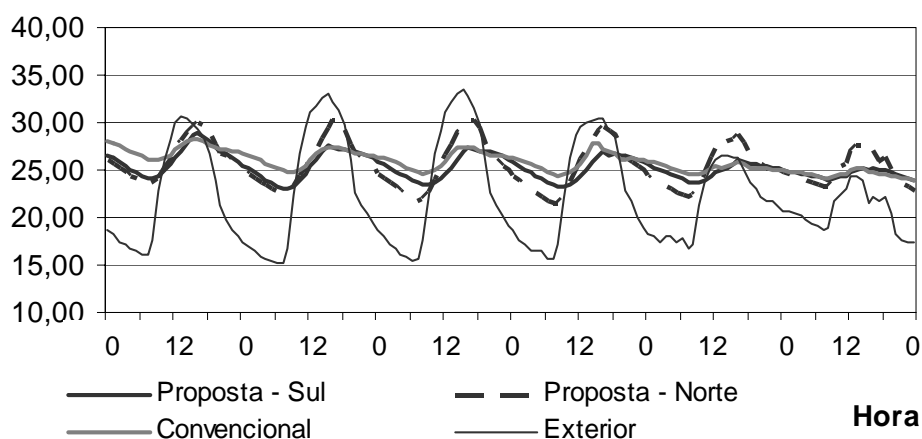


Figura 6.5.5. Temperatura Ambiente de 15 a 20 de Setembro de 2003 (Divisória da CET Proposta aberta)

A partir da análise dos gráficos de Temperatura ambiente interior durante um período representativo da estação de arrefecimento, que se mostram na Figura 6.5.5, é possível verificar que a zona Sul da CET Proposta, com a divisória interior aberta, possui um desempenho térmico melhor que a Célula Convencional, com uma diferença vantajosa de cerca de -2°C na Temperatura mínima, sendo de salientar o facto desta se dar essencialmente nas horas de ocupação nocturna (entre as 23 e as 10h). A amplitude térmica diária nesta zona da CET Proposta foi de cerca de 5°C (tendo-se mantido entre o valor mínimo de 23 e máximo de 28°C).

A oscilação na CET Convencional foi menor (entre 24 e 28°C), mas tal facto não se reflectiu no conforto do período de maior ocupação duma habitação, que é durante a noite. O amortecimento conseguido em relação aos picos da temperatura exterior mais elevados nestas duas zonas, foi de cerca de 9°C para a CET Proposta e de 7°C para a CET Convencional. Para a zona Norte da CET Proposta, no entanto, o desempenho foi claramente mais desfavorável, ainda que durante a noite se conseguiu chegar a temperaturas mais baixas (22°C), mas a oscilação foi excessiva, chegando a amplitude térmica a cerca de 8°C e atingindo uma temperatura máxima de 30°C .

Temperatura (°C)

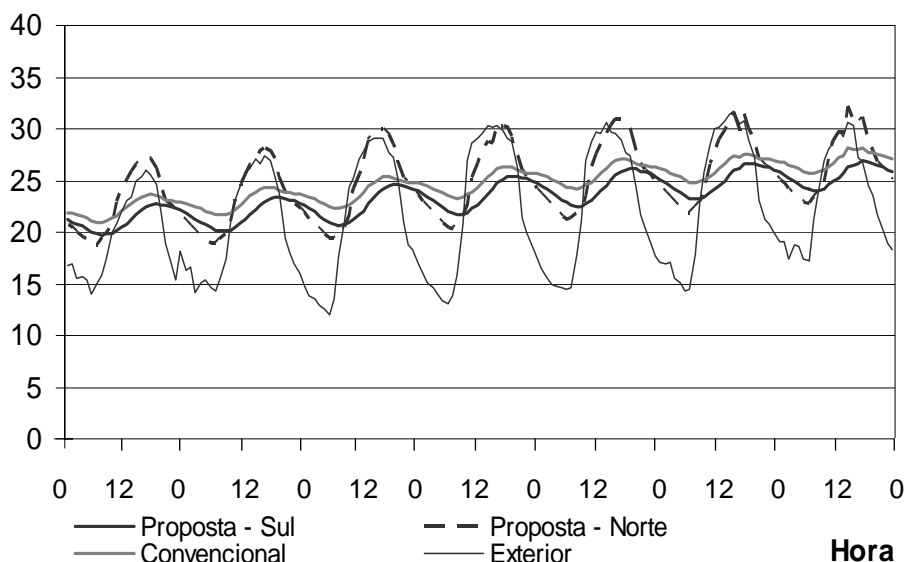


Figura 6.5.6. Temperatura Ambiente de 14 a 20 de Maio de 2004 (Divisória da CET Proposta fechada)

As medições efectuadas durante a estação de arrefecimento com a CET Proposta fechada (neste caso optou-se por dados obtidos em Maio), apresentam-se na Figura 6.5.6. Da análise deste gráfico é possível concluir que, durante a estação de arrefecimento, a zona Sul da Célula Proposta possui um desempenho térmico mais vantajoso do que a Célula Convencional, com uma diferença de cerca de -2°C em todo este período de medição, com uma amplitude térmica diária de cerca de 3°C.

O amortecimento dos picos de temperatura exterior mais elevados foi de cerca de 4°C para a CET Proposta e de 7°C para a CET Convencional na zona Sul. A maior disparidade deu-se no caso da zona Norte da Célula Convencional, onde a temperatura durante o dia acompanhou praticamente a temperatura exterior nos seus máximos, apesar de ter conseguido estabilizar para valores próximos (-2°C) da zona Sul da mesma Célula, durante a noite.

6.5.1.3. Humidade Relativa

Durante o Inverno, Figura 6.5.7, ambas as soluções apresentaram humidades relativas interiores elevadas, com valores compreendidos entre 60 e 70% na solução proposta e 50 e 70% na Solução Convencional, isto na maior parte dos dias e depois de estabilizarem, após períodos de humidades relativas exteriores próximas de 100%.

Humidade Relativa (%)

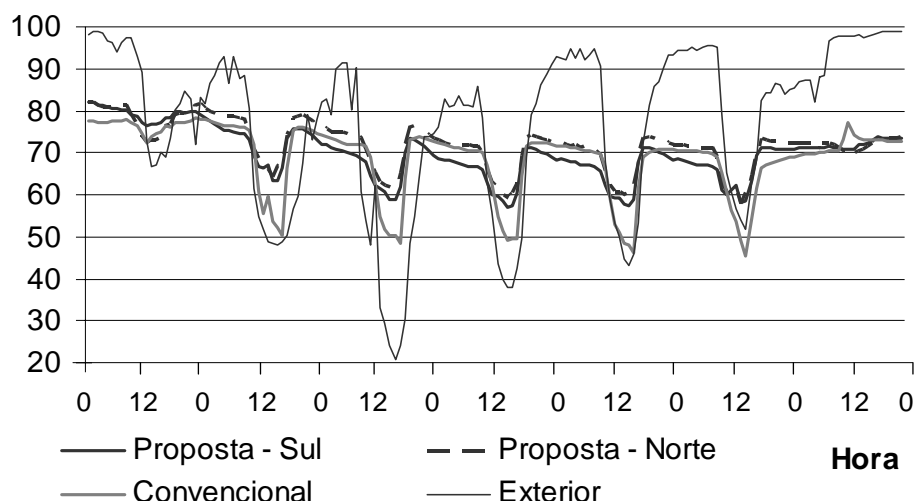


Figura 6.5.7. Humidade Relativa de 17 a 23 de Janeiro de 2004 (Divisória da CET Proposta aberta)

Pode ver-se na Figura 6.5.8 que, com a divisória fechada, a inércia higroscópica da CET Proposta na sua zona Sul é claramente superior, quer à zona Norte desta mesma Célula, quer à CET Convencional, que mantiveram valores muito semelhantes.

Humidade Relativa (%)

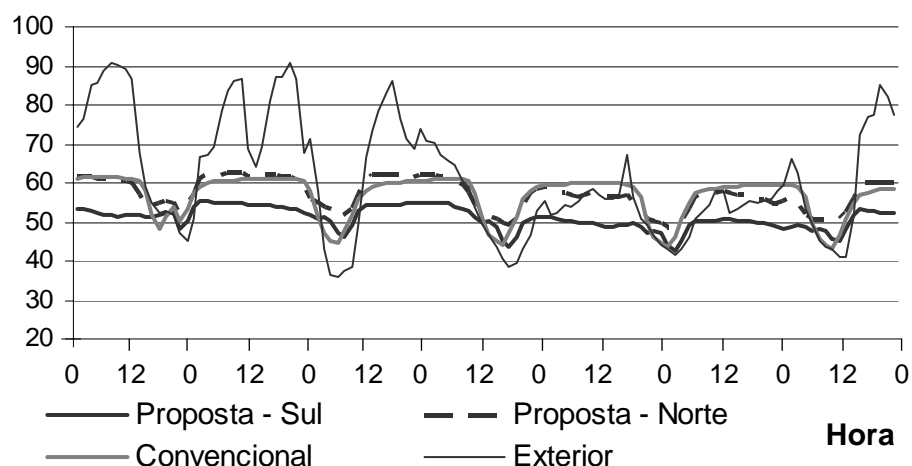


Figura 6.5.8. Humidade Relativa de 12 a 16 de Novembro de 2004 (Divisória da CET Proposta fechada)

A partir da análise dos gráficos das Figuras 6.5.9 e 6.5.10, onde se podem ver os valores medidos de humidade relativa durante um período de dias quentes, é possível verificar que a zona Sul da CET Proposta possui uma maior inércia higroscópica, permitindo manter os valores de humidade relativa interior abaixo dos 60% (entre 50 e 56%), enquanto a CET Convencional se manteve cerca de 10% a 15% acima (entre 58 e 69%). Tal facto permite, não apenas uma maior durabilidade dos materiais localizados no seu interior, como também um maior conforto, já que segundo o gráfico de zonas de conforto do ASHRAE (Figura 6.5.11), valores de humidade relativa acima de 60% já estão fora da zona de conforto, independentemente da Temperatura resultante. Bradshaw (Figura 3.1.36.b)) ou Serra (Figura 3.1.36.a)) apresentam gráficos com valores mais permissivos em termos de humidades relativas, mas,

ainda que permitindo o conforto, não impedem que se comprometa a durabilidade dos objectos e a qualidade do ar interior, especialmente com valores superiores a 70%.

Humidade Relativa (%)

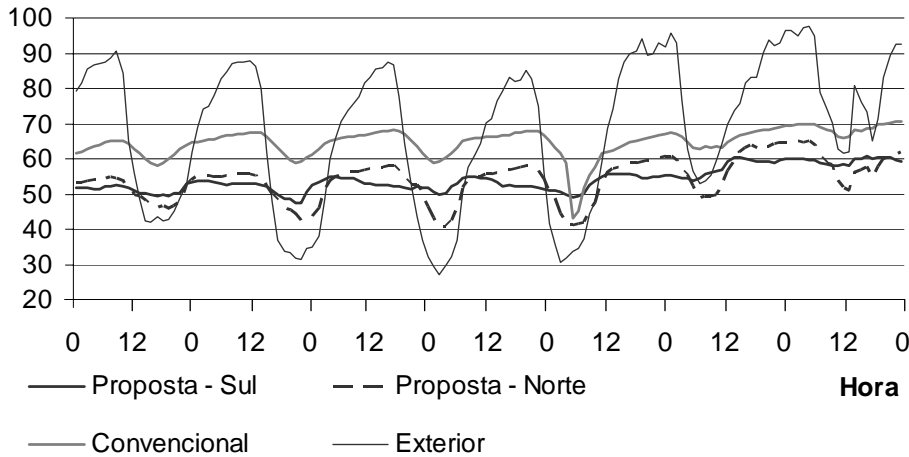


Figura 6.5.9. Humidade Relativa de 15 a 21 de Setembro de 2003 (Divisória da CET Proposta aberta)

Humidade Relativa (%)

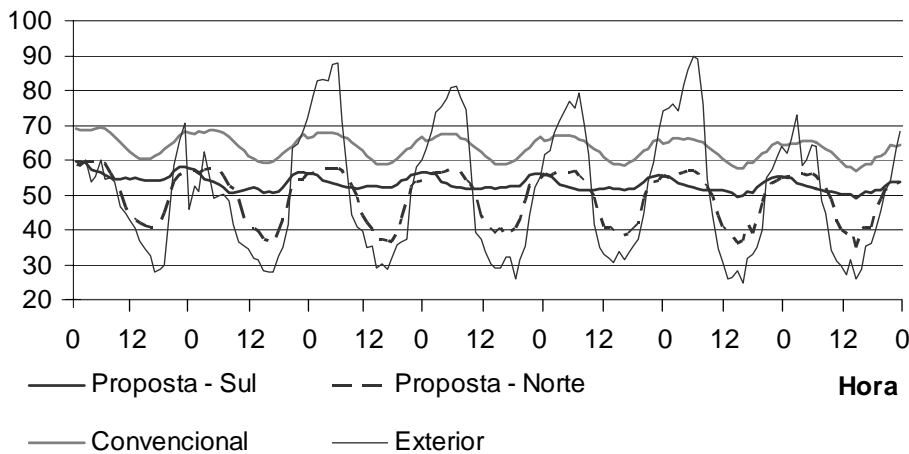


Figura 6.5.10. Humidade Relativa de 14 a 20 de Maio de 2004 (Divisória da CET Proposta fechada)

6.5.1.4. Fluxo de Calor

Para caracterizar os diferentes desempenhos dos elementos de fachada, foram colocados sensores de fluxo de calor nas duas CET, com medição não apenas da intensidade como também do sentido deste. A localização dos sensores nas respectivas CET já foi indicada na Figura 6.5.1, mas para facilitar a leitura reproduz-se novamente a instalação das CET com a posição das paredes na Figura 6.5.12. Nesta figura, o número do sensor (Placa de fluxo de calor) corresponde à Parede onde se localiza. Nas Figuras 6.5.13 e 6.5.14 são representados os valores dos fluxos medidos. Os valores positivos referem-se a fluxos do exterior para o interior. Como se pode ver nas figuras, tanto em Janeiro (ganhos de calor úteis) como em Maio, a Parede 1 - parede maciça de adobe de 15cm localizada na separação da CET Proposta para a estufa anexa, com uma pintura preta na superfície exterior, apresenta o mais elevado fluxo de calor (Fluxo 1) do exterior para o interior. Em Maio, o fluxo de calor máximo no sentido do interior, é no entanto bastante menor do que em Janeiro (20W/m^2 e 100W/m^2 ,

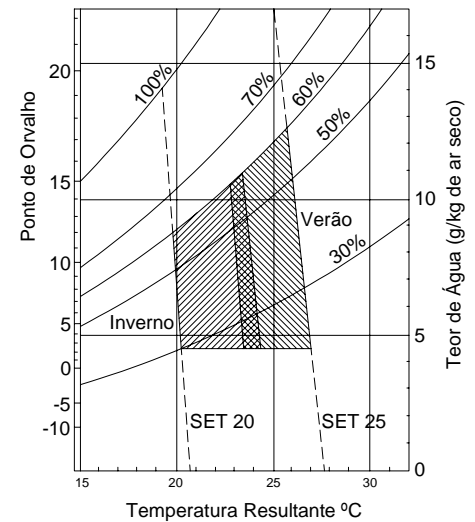


Figura 6.5.11. Gráfico psicrométrico com zonas de conforto do ASHRAE (ASHRAE 1997)

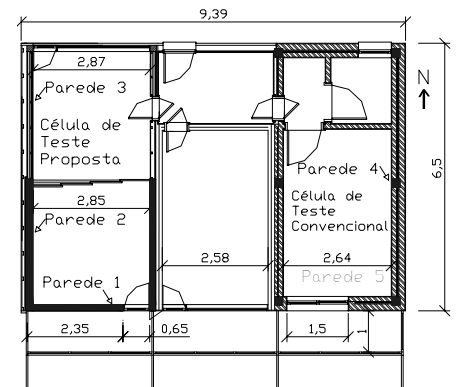


Figura 6.5.12. Paredes das Células de Edifício Teste avaliadas nos ensaios de Fluxo de Calor

respectivamente), devido à existência de sombreadores de lâminas localizados na parte Sul das Células de Teste, o que prova que esta parede é equilibrada no desempenho global anual, apesar de ser uma parede sem isolamento.

Em Janeiro, dentre as paredes laterais com isolamento, o maior fluxo de calor deu-se através da Parede 4, da solução Convencional, já que tem o Coeficiente U mais elevado. A parede 3 da CET Proposta tem a menor perda de calor, já que apresenta o valor de Coeficiente U mais baixo,.

Em Maio, as Paredes 1 e 3 da CET Proposta apresentam os fluxos mais elevados, devido ao pouco isolamento, no caso da Parede 1, e à reduzida massa térmica no caso da Parede 3. As Paredes 2 (CET Proposta) e 4 (CET Convencional) têm um desempenho muito similar, ainda que a Parede 2 apresente um maior atraso na cessão de calor, o que é mais vantajoso para a regulação térmica do compartimento.

Fluxo de Calor (w/m²)

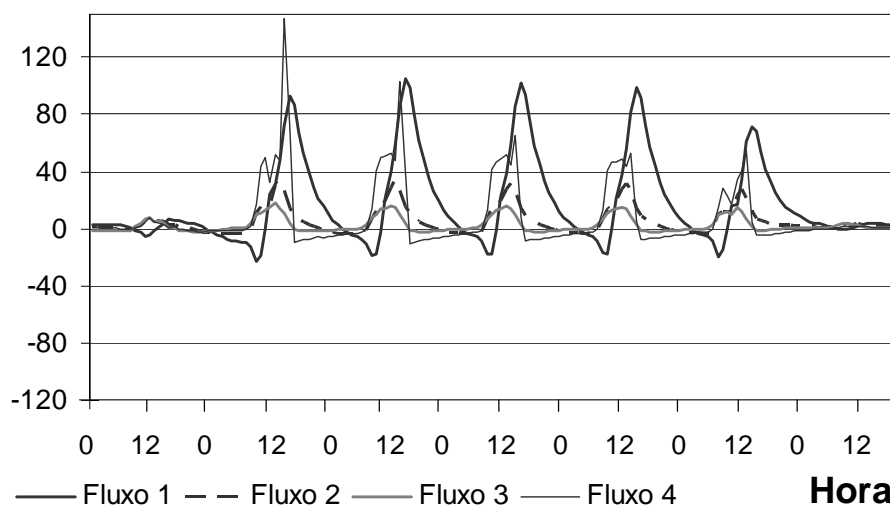


Figura 6.5.13. Fluxos de calor de 17 a 23 de Janeiro de 2004

Fluxo de Calor (w/m²)

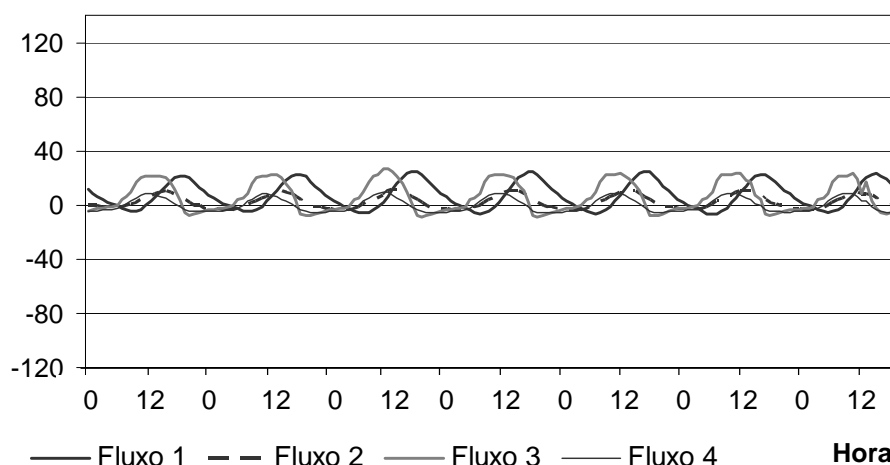


Figura 6.5.14. Fluxos de calor de 14 a 20 de Maio de 2004

6.5.1.5. Temperatura Superficial Interior

A Temperatura superficial foi outro dos parâmetros avaliados nos ensaios. Nas Figuras 6.5.15 e 6.5.16 podem ver-se os resultados obtidos nas estações de arrefecimento e de aquecimento. A localização dos termistores utilizados como sensores de temperatura superficial foi mostrada nas Figuras 6.5.1 e corresponde às paredes indicadas na Figura 6.5.12.

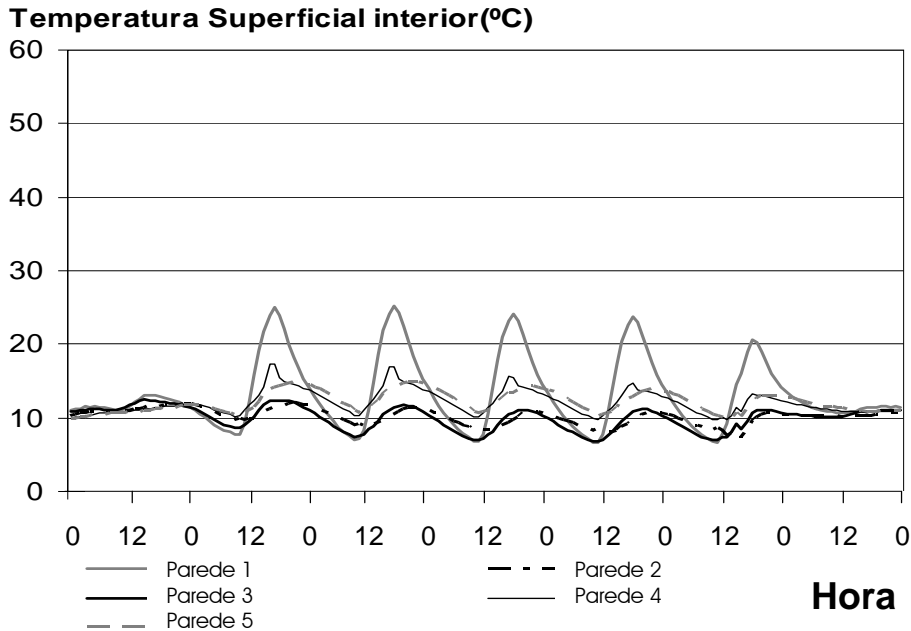


Figura 6.5.15. Temperatura superficial interior de 17 a 23 de Janeiro

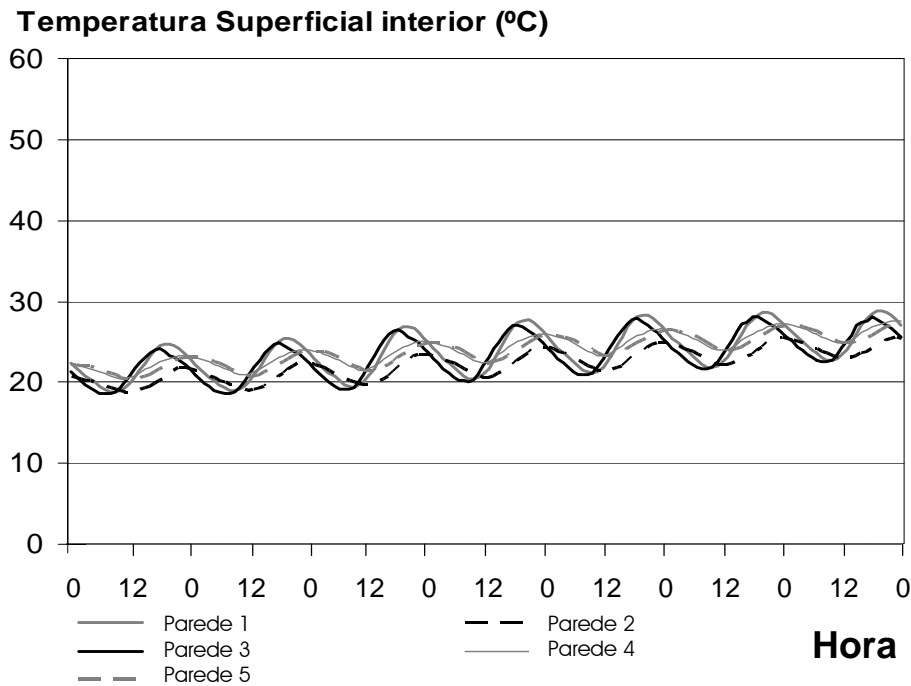


Figura 6.5.16. Temperatura superficial interior de 14 a 20 de Maio

A Parede 1, em Janeiro, tem variações da temperatura superficial consideráveis, tanto na parte interior (7 a 25°C) como na parte exterior (0 a 45°C) e nos períodos com e sem ganhos solares.

Em Maio, a Parede 2 tem as maiores variações da temperatura superficial exterior (de 10 a 56°C), por ser exposta a Oeste, mas a variação da temperatura superficial interior não é muito elevada (18 a 28°C), o que se explica pela grande massa térmica do adobe no pano interior, bem como pelo facto de o pano exterior ter uma caixa-de-ar ventilada.

6.5.1.6. Temperatura Resultante e avaliação de conforto

Para melhor comparar o conforto higrotérmico nas Células de Teste foram avaliadas as Temperaturas Resultantes durante os períodos de Arrefecimento e Aquecimento, com a divisória interior fechada e aberta na CET Proposta. No Anexo 2, os aspectos de conforto são descritos com mais detalhe.

Para a determinação da Temperatura Resultante foi aplicada a seguinte expressão:

$$T_r = \frac{\alpha_r \times \bar{T}_s + \alpha_c \times T_a}{\alpha_r + \alpha_c}$$

Onde;

α_r : Coeficiente de transferência de calor por radiação;

α_c : Coeficiente de transferência de calor por convecção;

Em condições normais de edifícios, estes coeficientes tomam os seguintes valores:

$\alpha_r = 4,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\alpha_c = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

T_a : Temperatura ambiente (°C);

T_s : Temperatura média radiante, dada por:

$$\bar{T}_s = \sum_{i=1}^n T_i \times F_{pi}$$

Onde;

T_i : Temperaturas das superfícies interiores;

F_{pi} : Factores de posição.

O coeficiente de convecção adoptado teve em conta o facto da velocidade do ar interior ter sido sempre inferior a 0,15m/s, podendo por isso ser considerado de ar calmo, podendo assim utilizar-se o valor de α_c de 2,9W/m²K. Os valores de velocidade do ar interior foram monitorizados com anemómetros de fio quente, Figura 6.5.17, localizados no centro dos dois compartimentos das Células de Edifício Teste, tendo-se registado velocidades médias de aproximadamente 0,08m/s ao longo dos períodos de medição apresentados.

Os gráficos 6.5.19, 6.5.21, 6.5.23 e 6.5.25 foram traçados a partir das Temperaturas resultantes para um ocupante sentado no centro do compartimento. São apresentados novamente os gráficos de humidade relativa para os respectivos períodos de medição, para uma melhor avaliação da situação de Conforto respectiva.



Figura 6.5.17. Anemómetro de fio quente instalado nas Células de Edifício Teste

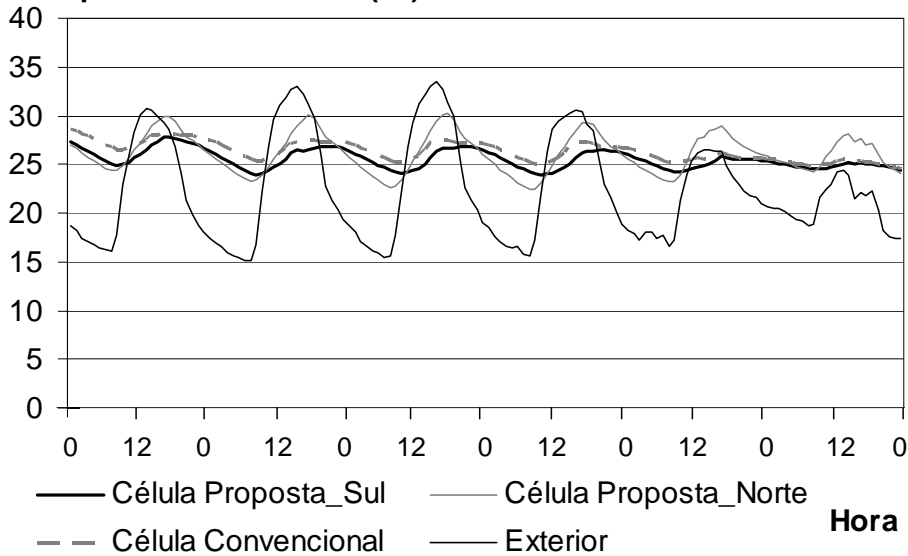
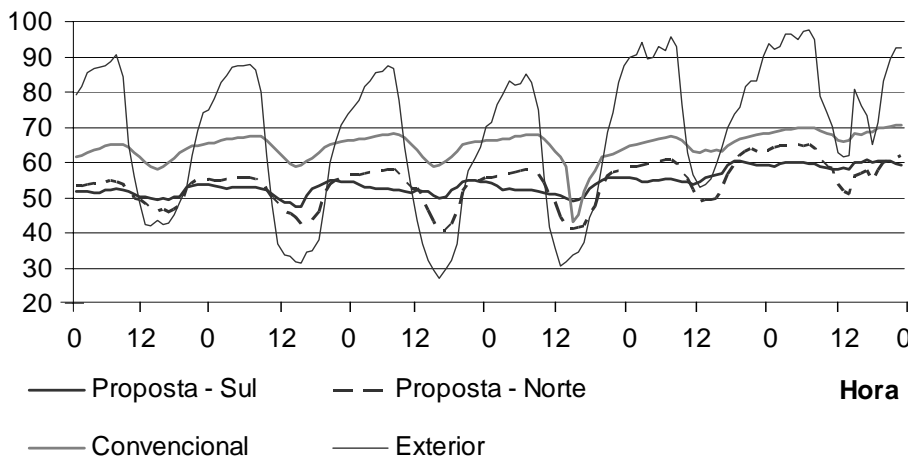
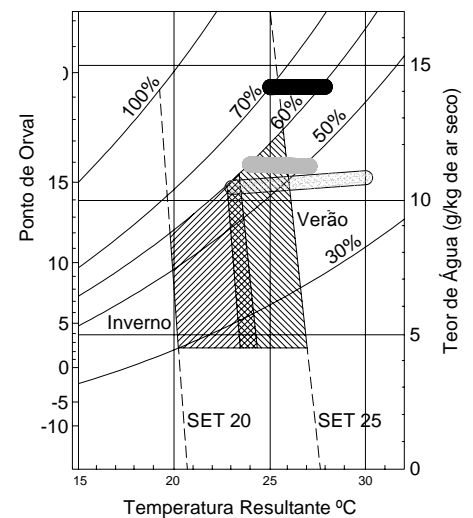
Temperatura Resultante(°C)**Humidade Relativa (%)**

Figura 6.5.18. Temperatura Média Resultante, Humidade Relativa no final do Verão (15 a 21 de Setembro de 2003 – Divisória na CET Proposta aberta)

Na zona Sul da CET Proposta, durante o período de medição de Verão apresentado e com a divisória aberta T_r variou entre 24 e 27°C e a Humidade Relativa entre 49 e 60%, como se pode ver na Figura 6.5.18. Na zona Norte da mesma Célula, T_r variou entre 23 e 30°C e a Humidade Relativa entre 41 e 59%.

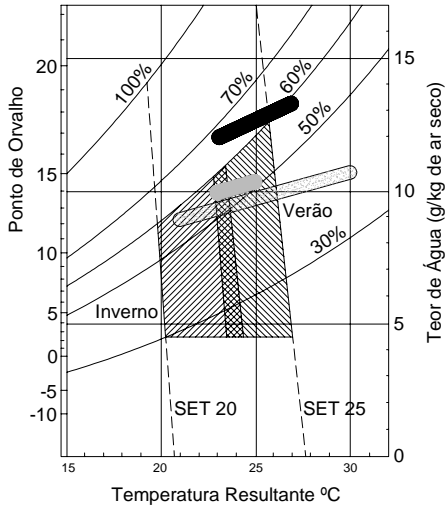
Na CET Convencional, T_r variou entre 25 e 28°C e a Humidade Relativa entre 59 e 70%.

Na Figura 6.5.19 os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE. Como se pode ver, apenas a CET Proposta apresenta valores parcialmente dentro da zona de conforto, estando a zona Sul desta Célula praticamente sempre dentro desta zona, especialmente no período nocturno.

**LEGENDA**

- Célula Convencional
- Célula Proposta - Compartmento Sul
- Célula Proposta - Compartmento Norte

Figura 6.5.19. Avaliação do conforto no Gráfico psicrométrico do ASHRAE no final do Verão (15 a 21 de Setembro de 2003 – Divisória na CET Proposta aberta)



- LEGENDA
- Célula Convencional
 - Célula Proposta - Compartimento Sul
 - Célula Proposta - Compartimento Norte

Figura 6.5.21. Avaliação do conforto no Gráfico psicrométrico do ASHRAE no fim da Primavera, com temperaturas elevadas (14 a 20 de Maio de 2004 – Divisória na CET Proposta fechada)

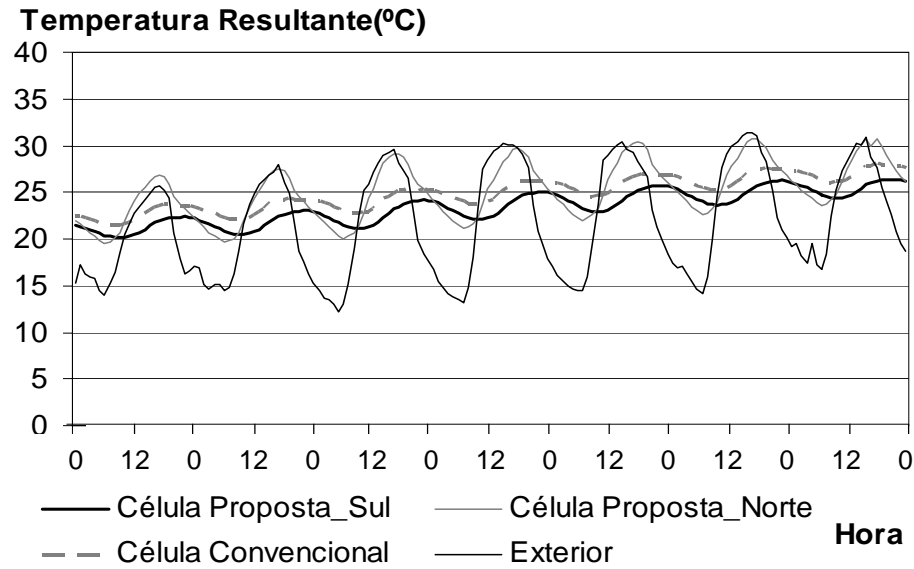


Figura 6.5.20. Temperatura Média Resultante e Humidade Relativa no fim da Primavera, com temperaturas elevadas (14 a 20 de Maio de 2004 – Divisória na CET Proposta fechada)

Na zona Sul da CET Proposta, durante o período de medição de final da Primavera e com a divisória fechada, T_r variou entre 23 e 25°C e a Humidade Relativa entre 51 e 56%, como se pode ver na Figura 6.5.20. Na zona Norte da mesma Célula, T_r variou entre 21 e 30°C e a Humidade Relativa entre 39 e 57%.

Na Célula Convencional, T_r variou entre 23 e 27°C e a Humidade Relativa entre 59 e 68%.

Os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE, na Figura 6.5.21. Como se pode ver, apenas a Célula Proposta apresenta valores totalmente dentro da zona de conforto com compartimento Sul e parcialmente dentro desta no compartimento Norte. A CET Convencional encontra-se fora da zona de conforto, ainda que por uma pequena diferença.

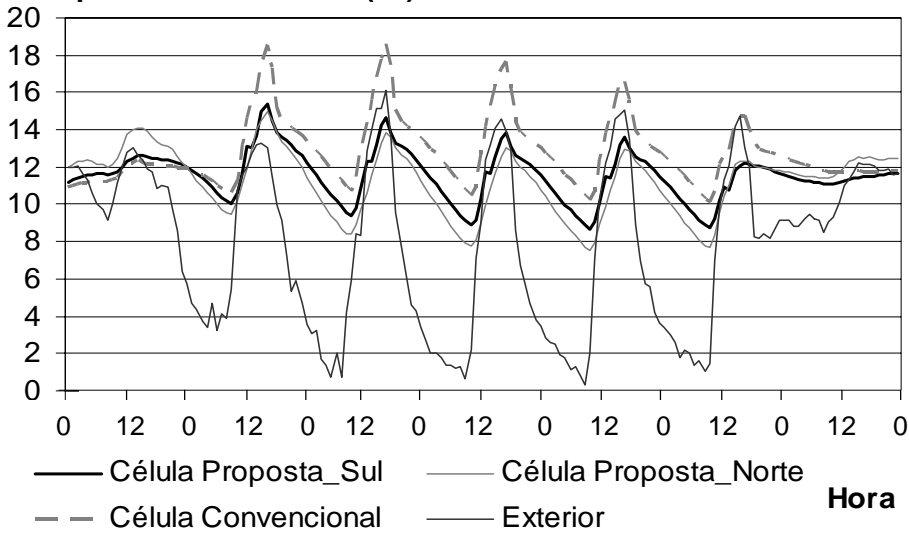
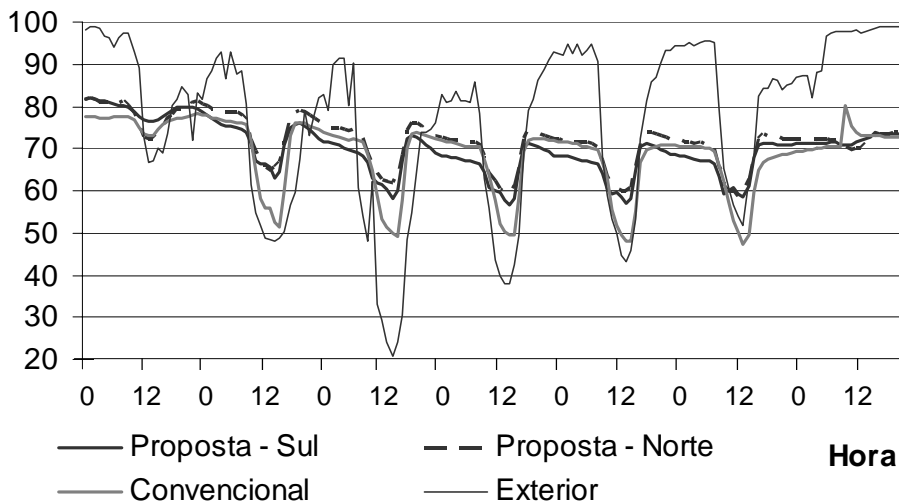
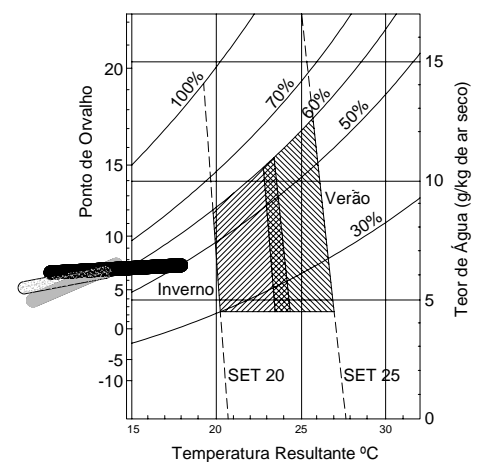
Temperatura Resultante(°C)**Humidade Relativa (%)**

Figura 6.5.22. Temperatura Média Resultante e Humidade Relativa na Estação de Aquecimento (17 a 23 de Janeiro de 2004 – Divisória na CET Proposta aberta)

Na zona Sul da CET Proposta, durante o período de medição de Inverno apresentado e com a divisória aberta, T_r variou entre 9 e 14°C e a Humidade Relativa entre 58 e 71%, como se pode ver na Figura 6.5.22. Na zona Norte da mesma Célula, T_r variou entre 8 e 13°C e a Humidade Relativa entre 60 e 73%.

Na Célula Convencional, T_r variou entre 11 e 18°C e a Humidade Relativa entre 50 e 71%.

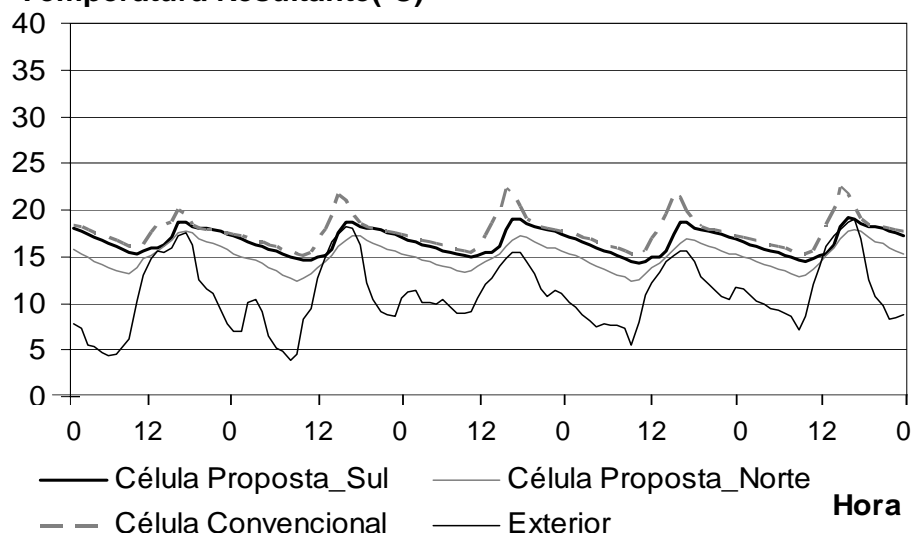
Os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE, na Figura 6.5.23. Como se pode ver, nenhuma das células apresenta valores na zona de conforto. A CET Convencional apresenta no entanto uma diferença menor para a zona de conforto, ainda que com humidades relativas ligeiramente mais altas.

**LEGENDA**

- Célula Convencional
- Célula Proposta - Compartimento Sul
- Célula Proposta - Compartimento Norte

Figura 6.5.23. Avaliação do conforto no Gráfico psicrométrico do ASHRAE no Inverno, com temperaturas muito baixas (17 a 23 de Janeiro de 2004 – Divisória na CET Proposta aberta)

Temperatura Resultante(°C)



Humidade Relativa (%)

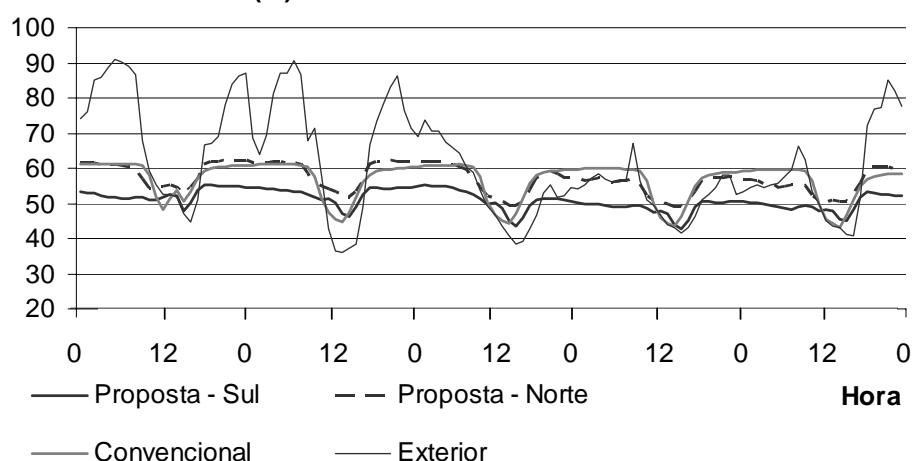


Figura 6.5.24. Temperatura Média Resultante e Humidade Relativa no final do Outono com temperaturas baixas (12 a 16 de Novembro de 2004 – Divisória na CET Proposta fechada)

Na zona Sul da CET Proposta, durante o período de medição de Outono apresentado, com temperaturas exteriores baixas e a divisória fechada, T_r variou entre 15 e 19°C e a Humidade Relativa entre 46 e 54%, como se pode ver na Figura 6.5.24. Na zona Norte da mesma Célula, T_r variou entre 13 e 17°C e a Humidade Relativa entre 52 e 61%.

Na Célula Convencional, T_r variou entre 16 e 22°C e a Humidade Relativa entre 45 e 60%.

Os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE, na Figura 6.5.25. Como se pode ver, apenas a CET Convencional apresenta valores parcialmente na zona de conforto. A CET Proposta apresenta no entanto uma diferença menor para a zona de conforto no compartimento Sul, ainda que apresente humidades relativas ligeiramente mais baixas que os restantes compartimentos estudados.

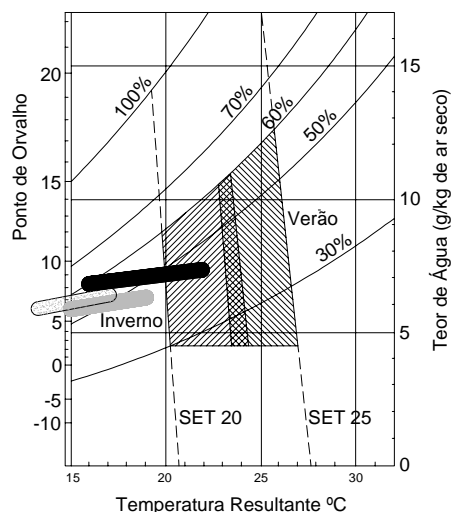


Figura 6.5.25. Avaliação do conforto no Gráfico psicrométrico do ASHRAE no Outono, com temperaturas baixas (12 a 16 de Novembro de 2004 – Divisória na CET Proposta fechada)

Do ponto de vista do desempenho de conforto higrotérmico, a solução mista estudada na CET Proposta apresenta resultados experimentais claramente mais positivos durante a Estação de Arrefecimento e ligeiramente mais desfavoráveis na Estação de Aquecimento. Em termos de humidade relativa a CET Proposta é sempre mais favorável, já que apresenta valores, na maior parte dos casos, abaixo dos 60%, enquanto a CET Convencional apresenta valores acima dos 70%, o que vai limitar quer o conforto, quer a durabilidade e a qualidade do ar interiores.

A zona Sul da CET Proposta tem o melhor desempenho térmico, pois tem maior massa de armazenamento térmico e, ainda que tenha menores ganhos solares directos, já que dispõe dum envidraçado para ganhos directos de menores dimensões que a CET Convencional, existem muito mais garantias de que os ganhos nesta zona sejam efectivos numa situação de ocupação real. A efectividade dos ganhos numa solução de ganhos directos, como a da CET Convencional irá depender de outros factores, nomeadamente que os ocupantes mantenham os envidraçados sem obstruções de sombreamento durante as horas de maior radiação solar, comprometendo a durabilidade dos materiais e mobiliário interiores, bem como o conforto de iluminação natural.

Pode concluir-se que ambas as soluções apresentam um desempenho higrotérmico adequado para Portugal e outros países de clima temperado, mas a Célula Proposta é mais sustentável, apresentando um impacte ambiental menor, atendendo essencialmente à menor energia incorporada nos materiais utilizados, bem como à optimização na concepção arquitectónica devida à estratégia de zonamento. Como este estudo mostra, o desempenho higrotérmico é inclusivamente melhor no Verão, do que a solução convencional estudada, que é já uma solução optimizada sob o ponto de vista térmico, dentro do tipo de construção convencional. Tal como a solução proposta, a solução convencional dispõe de uma estufa adossada Sul, de sombreadores e de um desvão ventilado. A maior diferença é nas suas paredes, que ainda assim têm 4cm de isolamento térmico de XPS e uma correcção duplas das pontes térmicas, que são soluções já de alguma qualidade, tendo em conta a realidade da construção em Portugal.

6.5.1.7. Armazenamento térmico com PCMs (Célula Passys)

Na Célula Passys foi feito um outro ensaio, onde se pretendia determinar qual o efeito dum PCM natural (óleo de côco) como regulador térmico. Nas Figuras 6.5.26 e 6.5.27 podem ver-se imagens da colocação do óleo de côco no Pavimento da Célula Passys, inserido em recipientes de plástico.



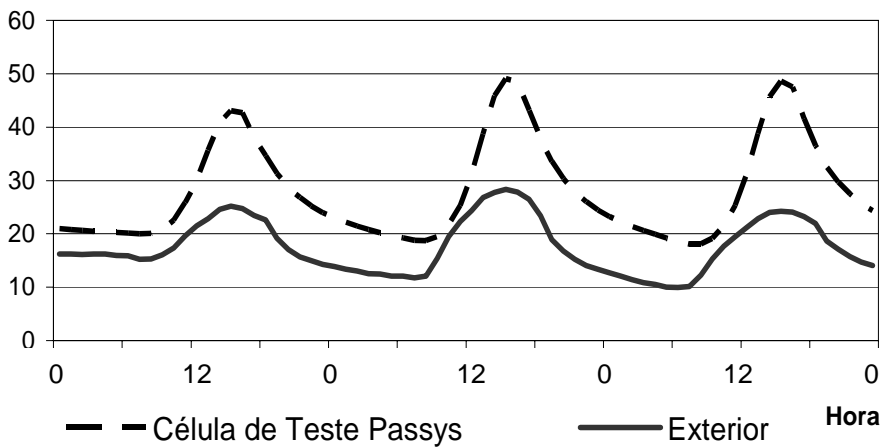
Figura 6.5.26. Colocação no pavimento da Célula de Teste Passys de recipientes plásticos com óleo de côco



Figura 6.5.27. Aspecto final do pavimento da Célula de Teste Passys com os recipientes plásticos com óleo de côco durante os ensaios

Nas Figuras 6.5.28 a 6.5.31 apresentam-se as medições efectuadas com diversas situações de armazenamento térmico com óleo de côco, desde a inexistência deste (solução de referência), apenas no pavimento (100kg) até à totalidade da massa de armazenamento estudada (cerca de 300kg, correspondendo a 100kg no pavimento e 200kg em recipientes soltos colocados sobre este), passando pela situação intermédia de 100kg no pavimento + 100kg em recipientes.

Temperatura Resultante (°C)



Humidade Relativa (%)

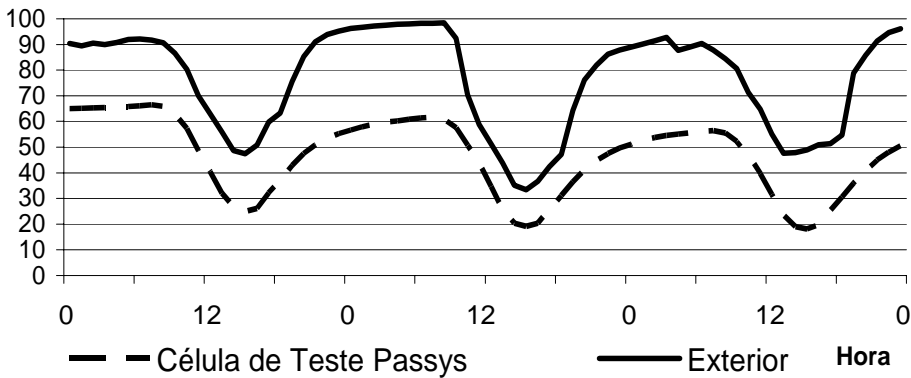


Figura 6.5.28. Temperatura Ambiente e Humidade Relativa na Célula Passys sem óleo de côco (2 a 4 de Outubro de 2003)

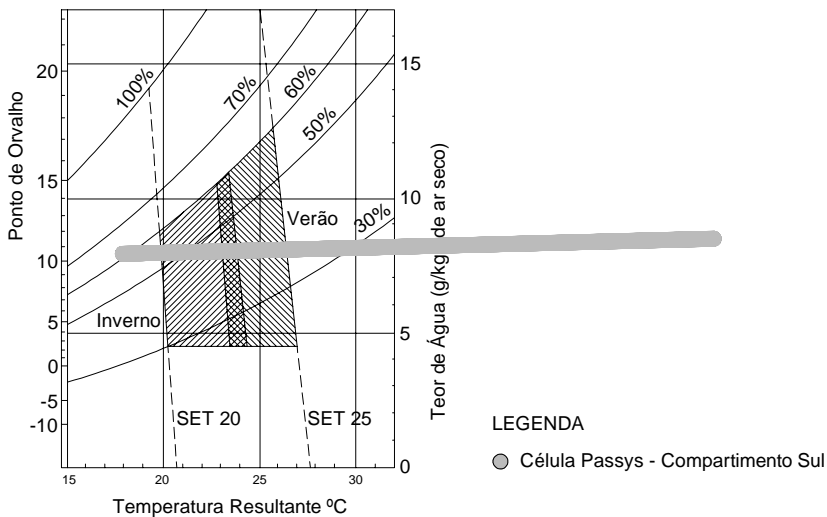
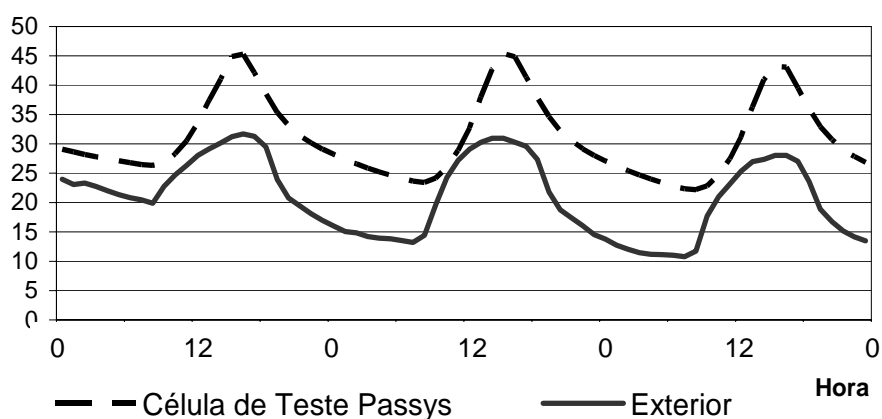


Figura 6.5.29. Avaliação do conforto na Célula Passys no Gráfico psicrométrico do ASHRAE, sem óleo de côco (2 a 4 de Outubro de 2003)

Como se pode ver na Figura 6.5.28, durante o período de medição apresentado, T_r no interior da Célula Passys sem óleo de côco, variou entre 18 e 48°C para Humidades Relativas de 68 e 20%, respectivamente. Os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE, na Figura 6.5.29.

Temperatura Resultante (°C)



Humidade Relativa (%)

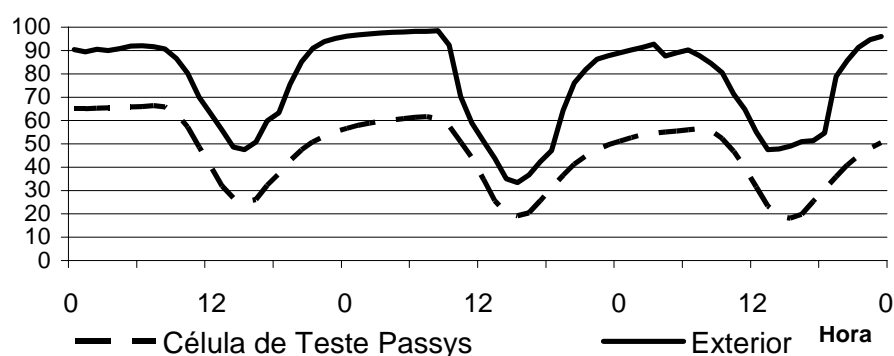


Figura 6.5.30. Temperatura Ambiente e Humidade Relativa na Célula Passys com óleo de côco no pavimento (27 a 29 de Setembro de 2004)

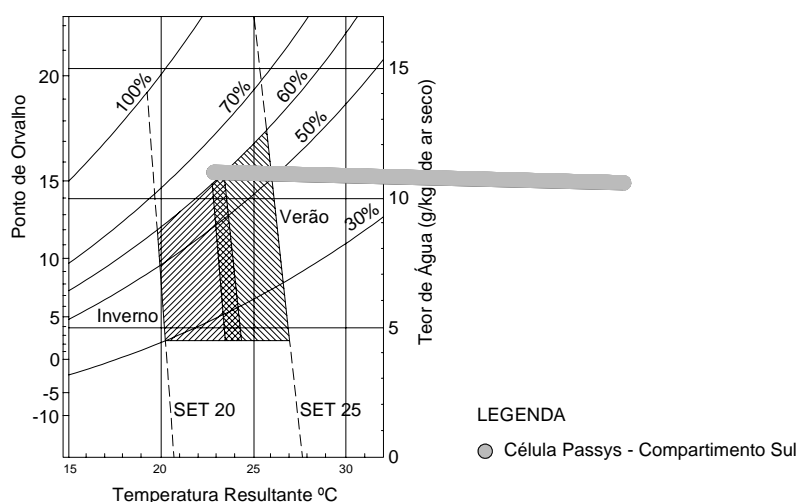
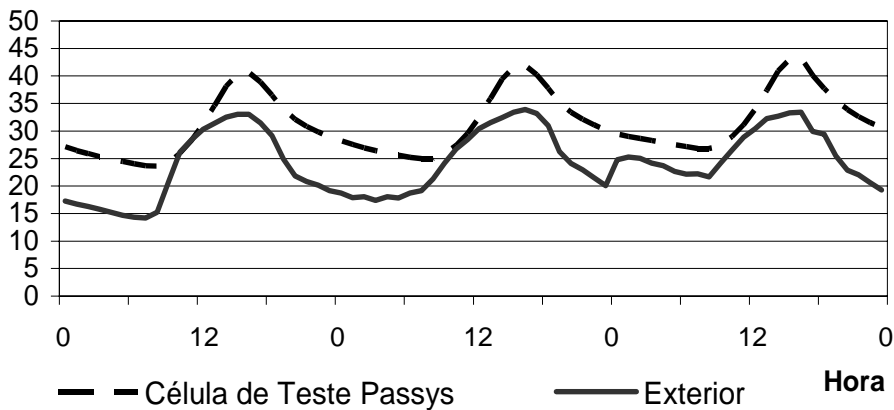


Figura 6.5.31. Avaliação do conforto na Célula Passys no Gráfico psicrométrico do ASHRAE, com óleo de côco no pavimento (27 a 29 de Setembro de 2004)

Como se pode ver na Figura 6.5.30, durante o período de medição apresentado, a T_r no interior da Célula Passys, com óleo de côco no pavimento (100kg), variou entre 23 e 45°C para Humidades Relativas de 61 e 19%, respectivamente. Os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE, na Figura 6.5.31.

Temperatura Resultante (°C)



Humidade Relativa (%)

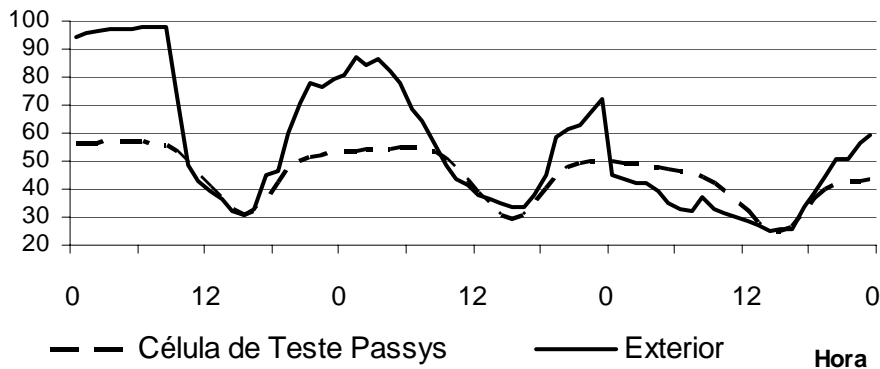


Figura 6.5.32. Temperatura Ambiente e Humidade Relativa na Célula Passys com óleo de côco no pavimento e em 22 recipientes adicionais (+100kg) (21 a 23 de Setembro de 2004)

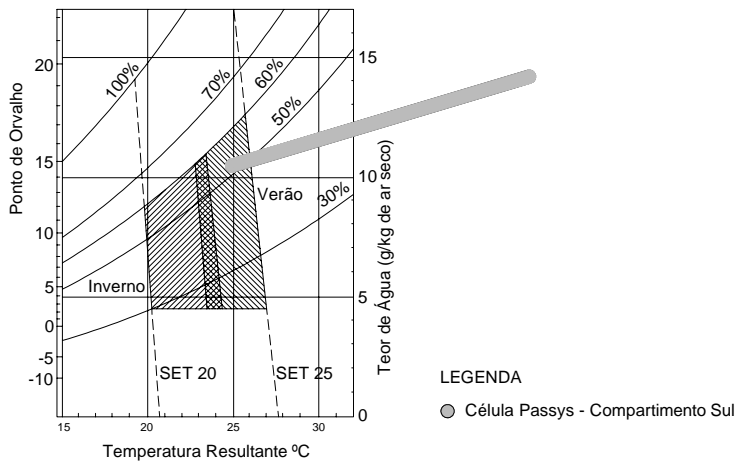
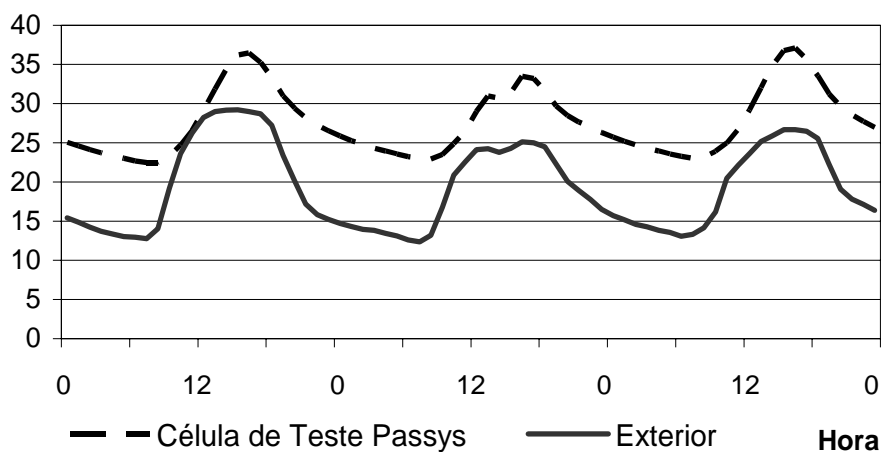


Figura 6.5.33. Avaliação do conforto na Célula Passys no Gráfico psicrométrico do ASHRAE, com óleo de côco no pavimento e em 22 recipientes adicionais (+100kg) (21 a 23 de Setembro de 2004)

Como se pode ver na Figura 6.5.32, durante o período de medição apresentado, a T_r no interior da Célula Passys, com óleo de côco no pavimento (100kg) e em 22 recipientes adicionais (+100kg) variou entre 25 e 42°C para Humidades Relativas de 52 e 29%, respectivamente. Os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE, na Figura 6.5.33.

Temperatura Resultante (°C)



Humidade Relativa (%)

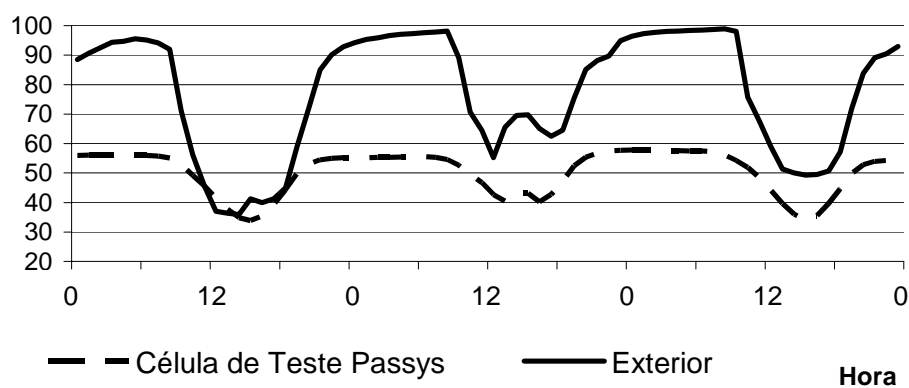


Figura 6.5.34. Temperatura Ambiente e Humidade Relativa na Célula Passys com óleo de côco no pavimento e em 44 recipientes adicionais (+200kg) (17 a 19 de Setembro de 2004)

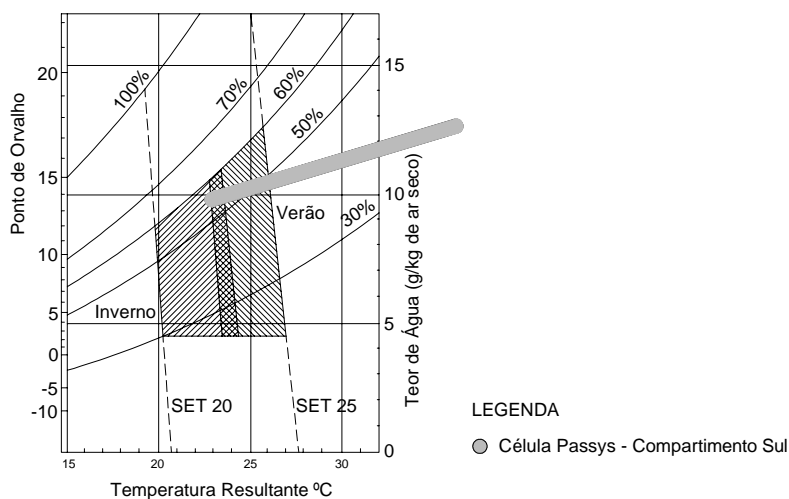


Figura 6.5.35. Avaliação do conforto na Célula Passys no Gráfico psicrométrico do ASHRAE, com óleo de côco no pavimento e em 44 recipientes adicionais (+200kg) (17 a 19 de Setembro de 2004)

Como se pode ver na Figura 6.5.34, durante o período de medição apresentado, a T_r no interior da Célula Passys, com óleo de côco no pavimento (100kg) e em 44 recipientes adicionais (+200kg) variou

entre 23 e 36°C, para Humidades Relativas de 55 e 33%, respectivamente. Os valores referidos encontram-se marcados sobre o Gráfico Psicrométrico com Zonas de Conforto do ASHRAE, na Figura 6.5.35 .

Da análise comparativa dos gráficos das Figuras 6.5.28 a 6.5.35 pode concluir-se que a redução dos picos de temperatura máxima interior, que estiveram em todas as situações acima da temperatura exterior (devido essencialmente aos ganhos directos pela estufa a Sul da Célula Passys) foi conseguida com a introdução do óleo de côco, especialmente a partir de 100+100kg. Verificou-se que a amplitude térmica diária interior foi sempre diminuindo com a introdução de mais óleo de côco. A diferença foi significativa entre o pico na Célula Passys sem óleo de côco (+20°C do que a Temperatura exterior) e na Célula Passys com todo o óleo de côco (100+200kg) (+8°C do que a Temperatura exterior). As temperaturas resultantes interiores mínimas mantiveram-se quase sempre cerca de 10°C acima da temperatura exterior. Será de salientar o facto das temperaturas resultantes de conforto se verificarem sempre, mesmo a partir dos 100kg de óleo de côco no pavimento, nas horas nocturnas, onde se iria verificar maior ocupação numa situação de habitação, tendo em conta que se trata da simulação duma zona de quarto.

Verificou-se também um aumento da inércia higroscópica, permitindo manter a humidade em valores dentro dos limites de conforto, a partir da introdução de mais 100kg de óleo de côco do que o do pavimento melhorando ainda ligeiramente com a introdução de mais 200kg.

Os resultados obtidos ainda não são contudo suficientes para atingir uma situação de conforto, pelo que serão necessários estudos posteriores, nomeadamente com uma menor área de envidraçado, modificação do factor solar e/ou introdução de massa térmica convencional, numa solução eventualmente mista.

6.5.2. Avaliação da iluminação natural

Para a adequada avaliação "in situ" das condições interiores de iluminação natural, torna-se necessário um conjunto de procedimentos de medição sistemáticos (monitorização), de modo a poder ser possível retirar das medições a informação mais relevante. As recomendações referentes à avaliação das condições de iluminação natural e artificial nos edifícios resumem-se à verificação dos valores das iluminâncias e do Factor de Luz-do-Dia (FLD) em determinados pontos onde se pretende executar uma determinada tarefa. No entanto, numa situação abstracta, como é o caso das Células de Edifício Teste, onde não existe uma localização específica para os ocupantes, o conhecimento de valores pontuais é insuficiente para a caracterização completa das condições de iluminação. Torna-se assim necessário efectuar um conjunto sistemático e criterioso de medições, que permitam a caracterização o mais completa possível do ambiente luminoso interior.

6.5.2.1. Plano de monitorização

Com base nos objectivos a atingir e nos recursos disponíveis, foi estabelecido um plano de monitorização, em que se incluíram os aspectos enunciados de seguida.

O primeiro aspecto foi o estabelecimento de uma calendarização das medições. A avaliação do desempenho da iluminação natural nas piores condições de céu possíveis (em céu encoberto) deverá ser feita durante os períodos de Inverno, quando a ocorrência deste céu é mais predominante. A avaliação de céus limpos deverá ocorrer em períodos o mais próximos possível do solstício de Verão. Adicionalmente, as medições devem ser completadas por observações e medições próximas do solstício de Inverno e de um equinócio (Primavera/Outono), de modo a permitir uma previsão das condições de iluminação ao longo de todo o ano. O conhecimento da previsão das condições meteorológicas para os dias em que se prevê efectuar medições é por isso fundamental. Também a ocorrência de dias de céu limpo próximos do solstício de Inverno poderá ser pouco frequente, inviabilizando as medições sob condições de céu limpo.

Já na fase de execução do plano de monitorização, um aspecto a ter em conta é o rigor das medições. Foram registadas informações relativas às condições meteorológicas e eventuais acontecimentos que pudessem influenciar os resultados finais. Foi também feita a marcação no pavimento dos pontos de medição das iluminâncias interiores.

6.5.2.2. Caracterização das propriedades dos materiais

As propriedades dos materiais com maior influência nas condições de iluminação natural nos edifícios são:

- Reflectância difusa visível das superfícies opacas;
- Transmitância visível das superfícies transparentes e translúcidas.

As características e propriedades das superfícies interiores, tais como: paredes, pavimento, tecto, mobiliário, etc., afectam significativamente a distribuição da luz natural interior dos compartimentos, manifestando-se a nível quantitativo e qualitativo de iluminação. Poder-se-á assim afirmar que as iluminâncias no interior, devidas à luz natural, são proporcionais ao produto da área pela transmitância difusa visível dos envidraçados. As grandezas que normalmente são medidas "in situ" para a caracterização das propriedades fotométricas dos materiais são:

- **Reflectância de superfícies opacas (ρ_s)**
A reflectância permite caracterizar a acção das superfícies interiores no processo de reflexões múltiplas da luz natural. O método mais rigoroso consiste em utilizar um luminancímetro e um ou dois padrões de reflectância. As medições são efectuadas do seguinte modo:
1. Colocam-se sobre a superfície a caracterizar os padrões de reflectância, geralmente um de cor branca e outro cinzento;

2. Mede-se a luminância de ambos os padrões e de seguida mede-se também a luminância da superfície, o mais próximo possível das superfícies padrões;

Uma vez conhecidas as reflectâncias das superfícies pode calcular-se a reflectância total da superfície a caracterizar pela seguinte expressão:

$$\rho_s = \frac{1}{2} \left[\rho_{p1} \cdot \frac{L_{sup}}{L_{p1}} + \rho_{p2} \cdot \frac{L_{sup}}{L_{p2}} \right] \quad (6.5.1)$$

A reflectância de uma superfície pode ser calculada para qualquer tipo de céu.

- **Transmitância de vãos de envidraçados (τ_v)**

A transmitância permite caracterizar o grau de atenuação de radiação visível causado pelo envidraçado. Este parâmetro deverá ser medido em condições de céu encoberto para os envidraçados e para os dispositivos de sombreamento (não fixos).

A metodologia mais usual para a medição deste parâmetro é a seguinte: Efectua-se uma medição da iluminância vertical na parte exterior do envidraçado (E_{vext}) e uma segunda medição na parte interior do mesmo cerca de 1cm afastada relativamente ao envidraçado (E_{vint}). A medição deve ser feita no centro do vão. A transmitância do envidraçado é dada por:

$$\tau_v = \frac{E_{vint}}{E_{vext}} \quad (6.5.2)$$

A transmitância deverá ser medida para os dispositivos de sombreamento (interiores e/ou exteriores), sendo as iluminâncias verticais medidas na face dos vãos com e sem sombreamento.

6.5.2.3. Factor de Luz-do-dia

Os aspectos quantitativos da iluminação relacionam-se essencialmente com valores das iluminâncias disponíveis ao longo dos planos de trabalho.

O parâmetro mais utilizado na quantificação do ambiente interior de iluminação natural é o Factor de Luz-do-Dia (FLD), que permite a caracterização de um determinado ambiente na pior situação possível - céu completamente encoberto. Aqui reside a vantagem da sua utilização relativamente a outros tipos de abordagem.

De facto, as condições exteriores de iluminação natural podem variar, mas o FLD permanece constante, visto que a disponibilidade da iluminação interior modifica-se simultaneamente consoante as alterações exteriores. Assim, para condições de céu encoberto, o FLD é constante para um determinado espaço, constituindo um

parâmetro característico desse espaço, nas piores condições de iluminação natural.

Teoricamente, o conceito de FLD pode ser aplicado sob quaisquer condições de nebulosidade (céu limpo, encoberto ou parcialmente encoberto). Todavia, a sua representatividade, enquanto parâmetro característico, restringe-se às condições de nebulosidade traduzidas pelo Céu-Encoberto-Padrão do CIE cuja distribuição teórica de iluminâncias apenas traduz com rigor as condições de céu completamente encoberto por nuvens escuras.

O FLD divide-se em dois componentes essenciais:

1. A componente de céu (devida à luz recebida directamente de um hemisfério de céu) é o quociente entre a iluminância num determinado ponto de um plano interior recebida de um céu de distribuição de iluminâncias conhecida e a iluminância exterior recebida numa superfície horizontal devida ao hemisfério de céu desobstruído;
2. As componentes reflectidas exterior e interior são, respectivamente, os quocientes entre as iluminâncias recebidas após reflexão em superfícies externas e internas e a iluminância horizontal exterior devida a um hemisfério de céu desobstruído. A luz reflectida pode contribuir de modo significativo para o total de luz natural disponível no interior dos edifícios, sendo que essa contribuição vai adquirindo maior importância à medida que aumenta a distância aos vãos envidraçados.

As imprecisões na medição do FLD podem ser significativas, resultantes não só dos instrumentos utilizados, mas também das condições de céu prevaletentes na altura das medições.

a) Medição do Factor de Luz-do-dia

Para a medição do FLD, é necessária a utilização de dois sensores de iluminâncias, como se pode ver na Figura 6.5.36, um deles colocado num ponto de medição interior do edifício e o outro colocado horizontalmente no exterior, sob um hemisfério de céu desobstruído. O FLD é expresso em percentagem para um ponto de um determinado plano, sendo dado pelo quociente entre a iluminância média desse ponto (E_{int}) e a iluminância horizontal exterior desobstruída (E_{ext}) (Santos 2001).

$$FLD(\%) = \left[\frac{E_{int}}{E_{ext}} \right] \cdot 100 \quad (6.5.3)$$

Deste modo, para a medição do FLD, para além de dois sensores de iluminâncias é necessário que essas medições sejam feitas em simultâneo. No caso de céu encoberto as medições devem ser continuamente verificadas, para se assegurar que elas são próximas de um céu encoberto padrão.

No entanto este método possui algumas desvantagens:

- É necessário aceder a um local desobstruído para a localização do sensor exterior;

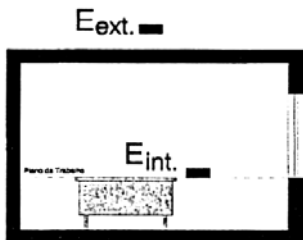


Figura 6.5.36. Método tradicional de medição do FLD. E_{ext} , E_{int} . são medidos simultaneamente, sob condições de céu encoberto padrão. O hemisfério de céu visível deverá estar desobstruído (Santos 2001)

- Para compartimentos com iluminação natural lateral, a medição exterior é influenciada por áreas de céu que pouco contribuem para valores das iluminâncias interiores;

Para atenuar estas desvantagens são sugeridas alternativas. Um dos métodos alternativos, como se pode ver na Figura 6.5.37 consiste em utilizar um sensor obstruído exterior de modo a receber luz proveniente apenas de metade do hemisfério do céu. Para o cálculo do FLD deve multiplicar-se a razão entre a iluminância interior e exterior por 0,5 (Santos 2001).

$$FLD(\%) = \left[\frac{E_{int}}{E_{ext}} \cdot 0.5 \right] \cdot 100 \quad (6.5.4)$$

Um outro método alternativo, como se pode ver na Figura 6.5.38, consiste em substituir a medição de iluminância horizontal exterior por uma medição de iluminância vertical exterior (E_{ext}), colocando o sensor na face exterior do vidro e obstruindo a luz reflectida pelo solo. O escudo utilizado para a obstrução deve ser de cor escura e de dimensão pelo menos dez vezes superior ao diâmetro da célula fotossensível. Assim o FLD calcula-se do seguinte modo (Santos 2001):

$$FLD(\%) = \left[\frac{E_{int}}{E_{ext}} \cdot 0.396 \right] \cdot 100 \quad (6.5.5)$$

Em que 0.396 resulta da relação entre a iluminância vertical e iluminância horizontal, para um céu encoberto padrão.

Por último pode calcular-se o FLD através de um outro método, que consiste em substituir a medição da iluminância horizontal exterior por uma medição à frente da janela, com uma inclinação de 42° em relação ao horizonte, podendo calcular-se o FLD pela expressão (Santos 2001):

$$FLD(\%) = \left[\frac{E_{int}}{L_{42^\circ} \cdot \pi} \right] \cdot 100 \quad (6.5.6)$$

Nas regiões em que o céu é predominantemente não encoberto, os valores de FLD que se desviem muito das condições de nebulosidade padrão da CIE, têm grande importância. O método referido na Expressão 6.5.3 é o mais rigoroso e fiável, desde que seja possível efectuar medições em locais não obstruídos, caso contrário poder-se-á utilizar qualquer um dos outros métodos referidos.

6.5.2.4. Condições de validade das medições sob céus encobertos reais

O céu encoberto real deve verificar as seguintes condições:

- O círculo solar não deve ser visível;
- Nenhuma parte de céu limpo deve ser visível, contudo podem ser toleradas pequenas partes, desde que não se

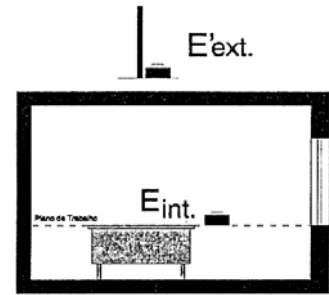


Figura 6.5.37. Método alternativo de medição do FLD. O sensor exterior deverá ser obstruído de modo a ver apenas metade do hemisfério do céu (Santos 2001)

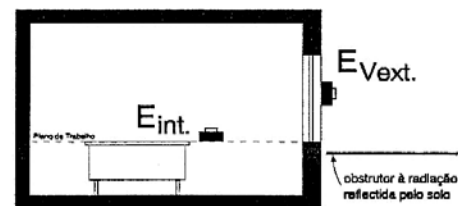


Figura 6.5.38. Método alternativo de medição do FLD. O sensor exterior deverá ser colocado verticalmente e ser obstruído da radiação reflectida pelo solo (Santos 2001)

encontrem próximo do Sol e também não sejam visíveis a partir dos pontos interiores de medição;

- Porções de céu de características não uniformes não devem ser visíveis a partir dos pontos interiores de medição;

6.5.2.5. Aplicação ao caso em estudo

Pretende-se, com este estudo, estabelecer a comparação entre os valores da iluminação natural experimentais nas duas Células de Edifício Teste.

Foram feitas medições no solstício de Inverno e do equinócio de Primavera. Consideraram-se ser estes períodos caracterizadores das situações mais desfavoráveis (Dezembro com céu encoberto – pouca luminosidade e céu limpo – excesso de luminosidade) e mais representativa (Março – valores mais característicos durante o ano) de utilização do espaço, com luz-do-dia. As medições das iluminâncias interiores foram realizadas ao longo de uma malha de pontos espaçados de 0.5m num plano horizontal a uma cota de 0.70m acima do pavimento, de modo a simular um plano de trabalho, como se mostra nas Figuras 6.4.12 e 6.5.39.

Para a realização das medições foi usado um sensor de iluminância, ligado a um luxímetro portátil com ecrã digital.

Para a determinação do FLD, foram medidas as iluminâncias exteriores no início da sequência de medições da iluminância interior nas células em cada ponto proposto, e também no final, calculando-se uma iluminância exterior média durante esse período.

As medições em cada ponto interior foram em alguns casos repetidas, para permitir uma maior fiabilidade nos resultados.

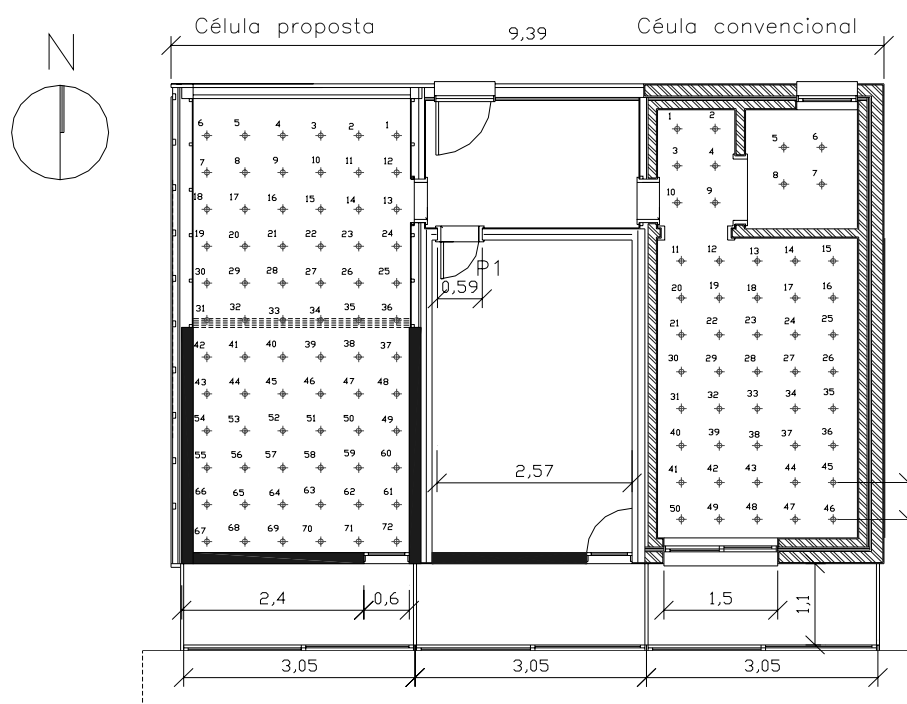


Figura 6.5.39. Representação da malha de pontos em ambas as células

Uma caracterização completa e adequada das condições de iluminação natural vai além da simples medição das iluminâncias com céu limpo no plano de trabalho.

Deve ter-se em atenção que em Países onde predominem as condições de céu não-encoberto, a avaliação das condições mínimas de iluminação natural, não permite ter uma ideia de condições médias, sendo necessário recorrer ao céu encoberto e ao céu limpo para a caracterização de um determinado espaço. Na Figura 6.5.40 mostram-se alguns exemplos de frequência de ocorrência de períodos de céu limpo/encoberto em algumas cidades da Europa. Um aspecto que se considera extremamente importante é a existência de obstáculos que possam de alguma forma influenciar os valores de iluminâncias. São aqui apresentadas apenas as situações que se consideraram mais desfavoráveis ou que melhor caracterizam a avaliação do desempenho de iluminação natural: o solstício de Inverno com céu limpo e com céu encoberto.

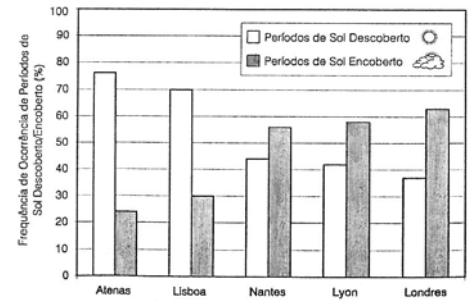


Figura 6.5.40. Representação da frequência de ocorrência de períodos de céu limpo/encoberto em algumas cidades da Europa (Santos 2001)

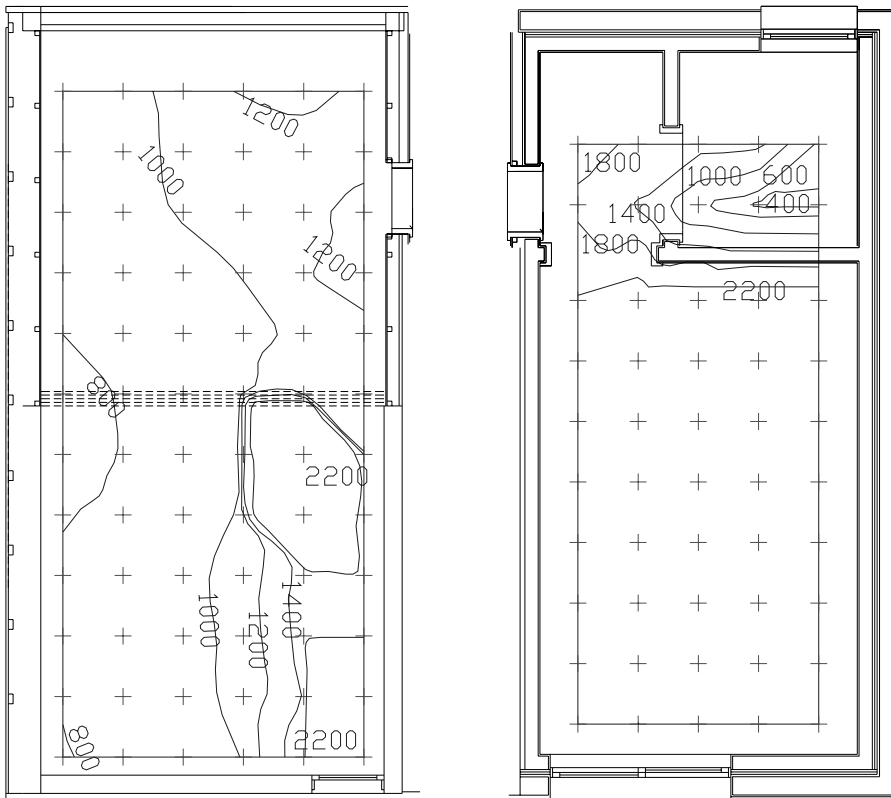


Figura 6.5.41.a) Valores medidos de iluminância no solstício de Inverno com céu limpo (isolinhas em lux) (12h)

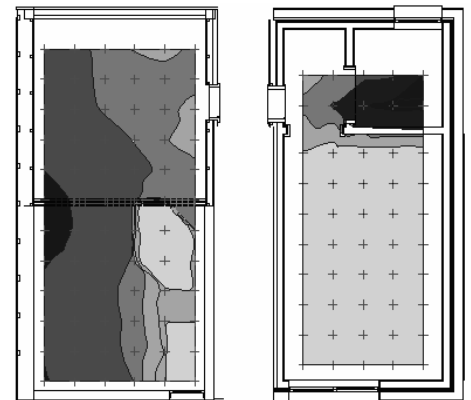


Figura 6.5.41.b) Comparação dos níveis de iluminância no solstício de Inverno com céu limpo (12h)

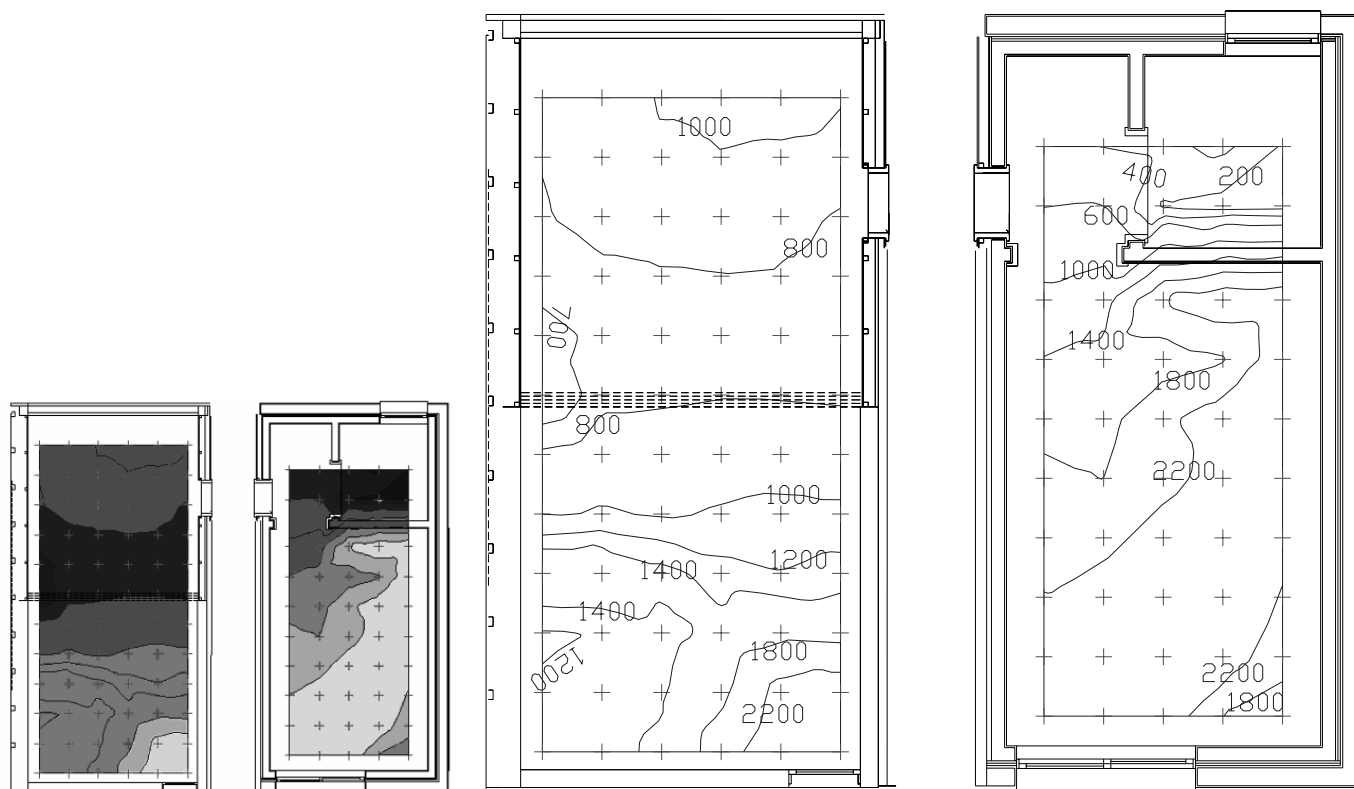


Figura 6.5.42.b) Comparação dos níveis de iluminância no solstício de Inverno com céu limpo (15h)

Figura 6.5.42.a) Valores medidos de iluminância no solstício de Inverno com céu limpo (isolinhas em lux) (15h)

No solstício de Inverno com céu limpo, verificou-se que a CET Convencional apresentou valores muito elevados (mais de 2200 lux), a partir das 12h (Figura 6.5.41) e até às 15h (6.5.42). Isto deve-se ao facto de esta ter ganhos directos através do envidraçado de orientação a Sul, ocorrendo incidência directa de radiação solar no compartimento durante a respectiva medição, já que a altura solar neste solstício é pequena. Só são apresentados os valores de iluminância até 2200 lux, podendo verificar-se que praticamente toda a área do compartimento principal da CET Convencional se encontrava acima deste valor às 12 horas e uma grande parte deste às 15 horas, o que obrigaria os ocupantes a fechar os sistemas de oclusão disponíveis (estores, cortinas, persianas, etc.) durante quase todo o dia, limitando desta forma drasticamente a captação dos ganhos solares. Ainda que com esses dispositivos se conseguisse controlar a luminosidade para valores confortáveis isso iria seguramente conduzir a um pior desempenho higratérmico do que o avaliado e apresentado anteriormente neste Capítulo para o Inverno. Se na situação sem sistemas de oclusão a solução convencional se revelou mais eficiente do que a CET Proposta na estação de aquecimento, sob o ponto de vista térmico, isso sucede à custa do desempenho de iluminação natural, que tornaria a realização de qualquer tarefa visual inviável.

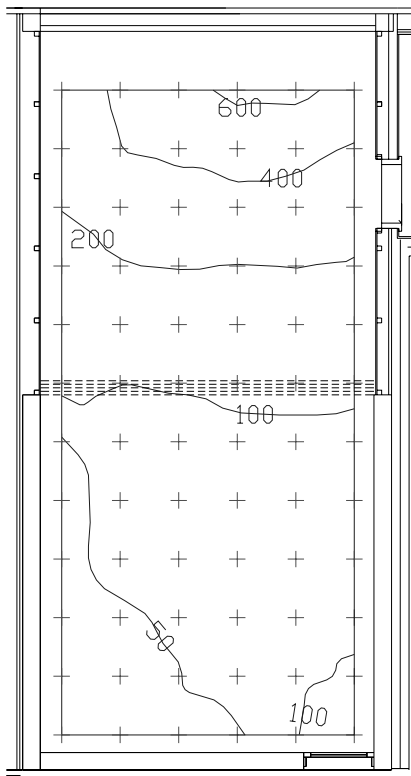


Figura 6.5.43.a) Valores medidos de iluminância no solstício de Inverno com céu encoberto (isolinhas) (15h)

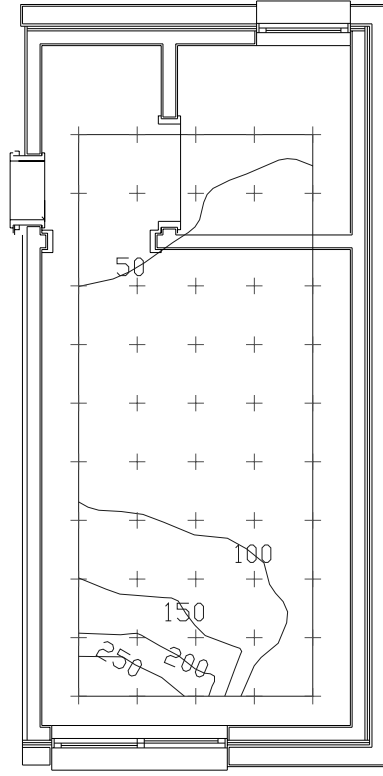


Figura 6.5.43.b) Comparação dos níveis de iluminância no solstício de Inverno com céu encoberto (15h)

Com céu encoberto no Inverno, Figura 6.5.43, a solução proposta apresentava valores mais elevados e uniformes na sua zona de trabalho (Norte) do que o compartimento da Célula Convencional. Desta forma poderia aproveitar-se até mais tarde a iluminação natural, o que conduziria não só a um conforto superior, como a uma redução nos custos energéticos com a iluminação artificial, desta solução. Como esta é a situação mais desfavorável que foi medida, pode concluir-se que a solução proposta é bastante mais eficiente do ponto de vista da iluminação natural, podendo pensar-se em optimizá-la mais pela colocação de um ou mais panos transparentes ou translúcidos, o que beneficiaria o seu desempenho higrotérmico, sem no entanto correr o risco de piorar significativamente as condições de iluminação natural.

Se compararmos as medições realizadas com a simulação efectuada com o programa Relux (versão demo), apresentada na secção 6.4.3 e no Anexo 3 verifica-se uma discrepância nos valores de iluminâncias. Isto pode dever-se, como já foi referido, à incidência directa dos raios solares.

No gráfico da Figura 6.5.40 pode verificar-se que, no Solstício de Inverno, com céu limpo, a CET Convencional apresenta valores médios extremamente elevados de FLD, o que torna inviável o desempenho de qualquer tarefa visual. Com céu encoberto a CET Proposta apresenta valores médios de FLD mais elevados, quando comparada com a CET convencional, o que neste caso é favorável, já que correspondem a intensidades apropriadas para a execução de tarefas visuais normais numa habitação.

Solstício de Inverno

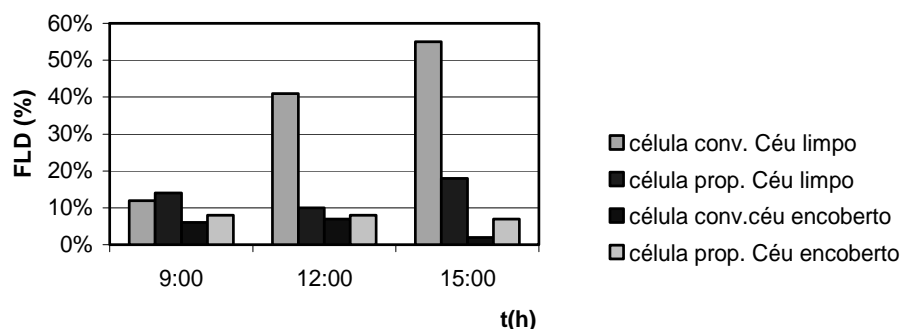


Figura 6.5.44. Comparação dos FLD no solstício de Inverno, com céu encoberto e céu limpo em ambas as células

No que diz respeito à caracterização das Células em estudo, no equinócio de Primavera, como se pode verificar no gráfico da Figura 6.5.45, a CET Proposta oferece valores de FLD mais elevados, especialmente nas condições de céu encoberto, relativamente à CET Convencional.

Equinócio de Primavera

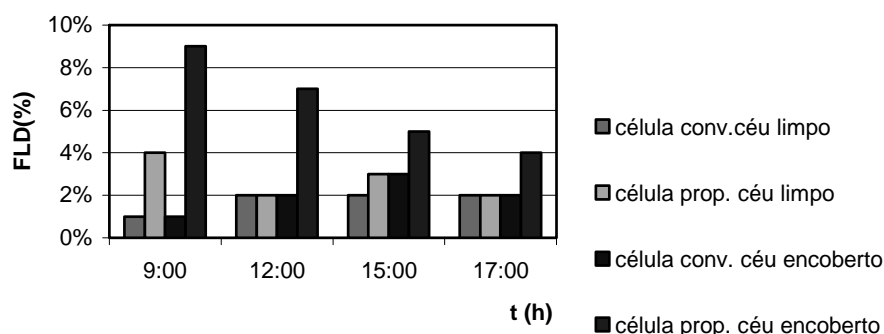


Figura 6.5.45. Comparação dos FLD no equinócio de Primavera, com céu encoberto e céu limpo em ambas as células

6.5.3. Avaliação do desempenho acústico

A avaliação da qualidade acústica dos edifícios, ainda que, tal como nos outros parâmetros de conforto, possa ser subjectiva e dependendo das condições individuais, socio-económicas e culturais, pode ser baseada em critérios físicos objectivos e mensuráveis, que se encontram descritos em literatura especializada e em normas internacionais. A avaliação experimental do desempenho acústico de um edifício deve ser feita de acordo com a avaliação dos índices de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado, ponderado, de acordo com a área equivalente de absorção de cada elemento da envolvente exterior - $D_{2m,n,w}$ no caso de fachadas e $D_{n,w}$ nos restantes elementos.

6.5.3.1. Descrição das medições

As medições acústicas foram realizadas de acordo com os padrões do ISO 140, parte V (EN ISO 140-5), e os ISO 717, parte 1 (EN ISO 717). Para as Células de Teste esta avaliação foi realizada

através de medições "in situ", sendo os resultados obtidos na CET proposta comparados com os valores de isolamento sonoro a sons de condução aérea obtidos para a solução construtiva convencional.

Nos ensaios de isolamento sonoro a sons de condução aérea utilizou-se para a produção do campo sonoro uma fonte sonora com difusor cônico. Como equipamento de medição utilizou-se um microfone rotativo com uma velocidade de rotação de 16 s/volta, equipado com microfone condensador de ½ polegada, calibrado antes e após as medições com um calibrador debitando 93,8 dB à frequência de 1000Hz.

Para o registo de valores utilizou-se um analisador de frequências em tempo real, utilizando filtros de 1/3 de oitava.

6.5.3.2. Resultados

O isolamento sonoro a sons de condução aérea das fachadas ($D_{2m,n,w}$) foi determinado através de medições "in situ" realizadas em ambas as Células de Teste. Os resultados experimentais obtidos podem ser observados na Tabela 6.5.1 para as diversas fachadas analisadas, que se apresentam na Figura 6.5.46. Das medições realizadas é possível concluir que a solução convencional apresenta um isolamento sonoro globalmente superior, devido à sua massa mais elevada (34%).

Tabela 6.5.1. Isolamento sonoro a sons aéreos das fachadas das CET medido "in situ" ($D_{2m,n,w}$)

CET 1 - Proposta – C1	$D_{2m,n,w}$ [dB(A)]
C1S-FS-(08/07/03) – Parede 1	34
C1S-FS-CF-(27/07/04) – Parede 1	39
C1S-FS-CA-(26/07/04) – Parede 1	33
C1N-FO-CF-(26/07/04) – Parede 3	41
C1S-FO-CF-(08/07/03) – Parede 2	49
C1N-FO-CA-(26/07/04) – Parede 3	42
C1N-FN-CA-(27/07/04) – Envidraçado Norte	26

CET 2 - Convencional – C2	$D_{2m,n,w}$ [dB(A)]
C2-FS-(08/07/03) – Parede 5	35
C2-FS-(27/07/04) – Parede 5	39
C2-FE-(08/07/03) – Parede 4	49

Legenda: FS - Fachada Sul;
 FN - Fachada Norte;
 FO - Fachada Oeste;
 FE - Fachada Este
 CA - Divisória Aberta
 CF - Divisória Fechada
 C1S - Célula 1 (Proposta), Compartimento Sul
 C1N - Célula 1 (Proposta), Compartimento Norte
 C2 - Célula 2 (Convencional)
 08/07/03 - sem envidraçado na varanda Sul;
 26 e 27/07/04 - com envidraçado na varanda Sul

As medições mostram também a influência da área envidraçada, no desempenho global da fachada: a fachada Sul da CET Convencional, com uma área envidraçada 54% maior do que a fachada Sul da CET Proposta, tem um nível de isolamento sonoro 4dB inferior. Quando comparamos as fachadas Sul e Este da Célula Convencional, com a mesma massa, a redução do nível de isolamento sonoro é de 18dB. A diferença do nível de isolamento sonoro entre as fachadas Sul e Oeste da Célula de Teste Proposta é de 7dB.

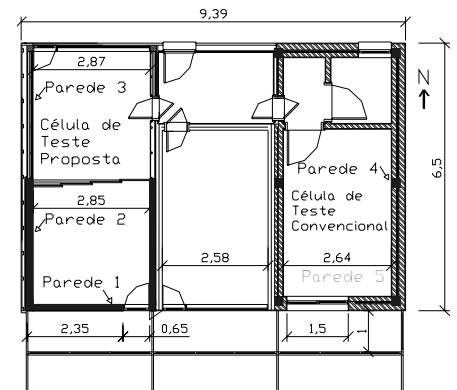


Figura 6.5.46. Paredes das Células de Edifício Teste avaliadas nos ensaios de isolamento sonoro a sons aéreos

Na Figura 6.5.47 são apresentados os resultados, por frequências de 1/3 de oitava, das medições efectuadas nas duas Células de Edifício Teste (CET 1 - Proposta e CET 2 - Convencional).

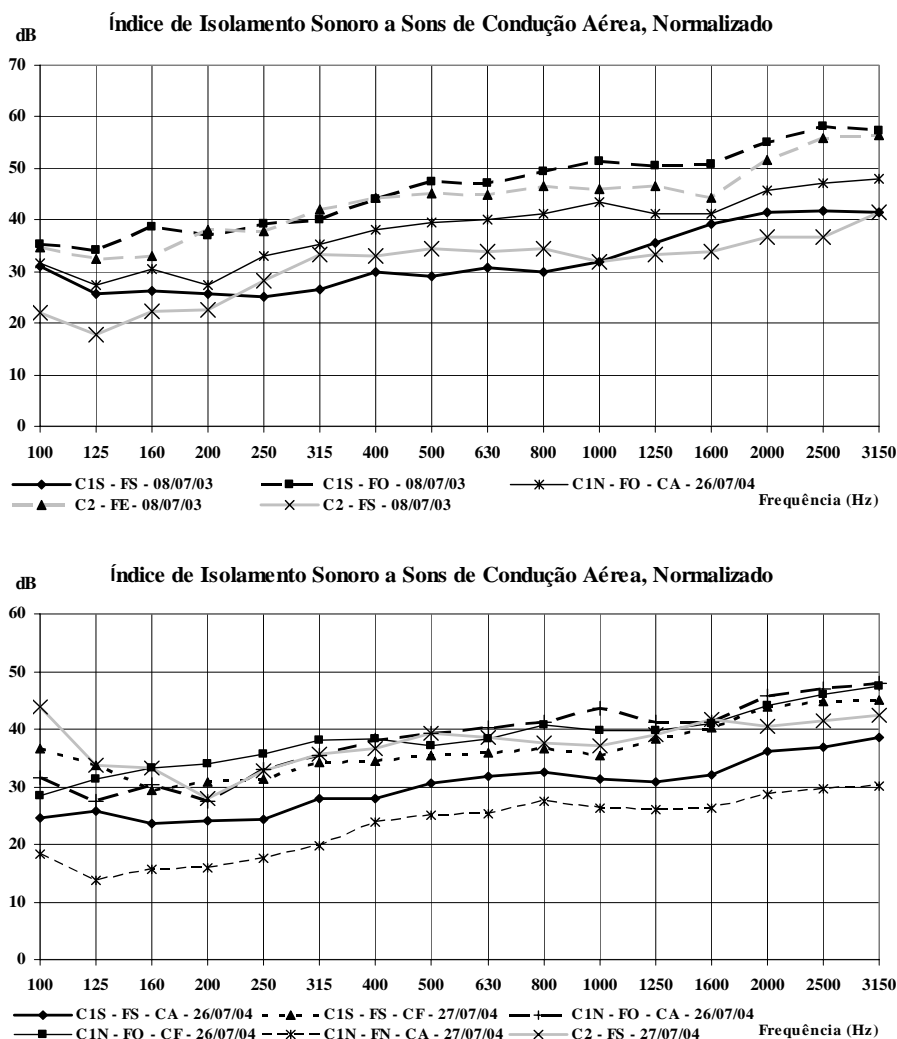


Figura 6.5.47. Resultado das medições de Isolamento Sonoro a sons de Condução Aérea de fachadas nas Células de Teste (com envidraçado da varanda Sul)

Como se pode observar na Figura 6.5.47 a parede Este da CET Convencional e a parede Oeste da CET Proposta, ambas sem envidraçados, têm o melhor desempenho acústico. A fachada Sul da CET Convencional, ainda que a sua parede tenha uma massa mais elevada, tem também uma maior área envidraçada pelo que é das fachadas Sul aquela que tem o nível de isolamento sonoro mais baixo.

Este estudo mostrou que a CET Convencional, com uma massa mais elevada e com menor área de envidraçado, tem um desempenho acústico superior, se considerarmos a totalidade da sua área útil interior. No entanto, a solução Proposta tem um desempenho acústico superior se considerarmos apenas o seu compartimento Sul com a divisória fechada, já que este beneficia da elevada massa das paredes exteriores, da menor área de envidraçado Sul e do efeito tampão relativamente à zona de envidraçado Norte.