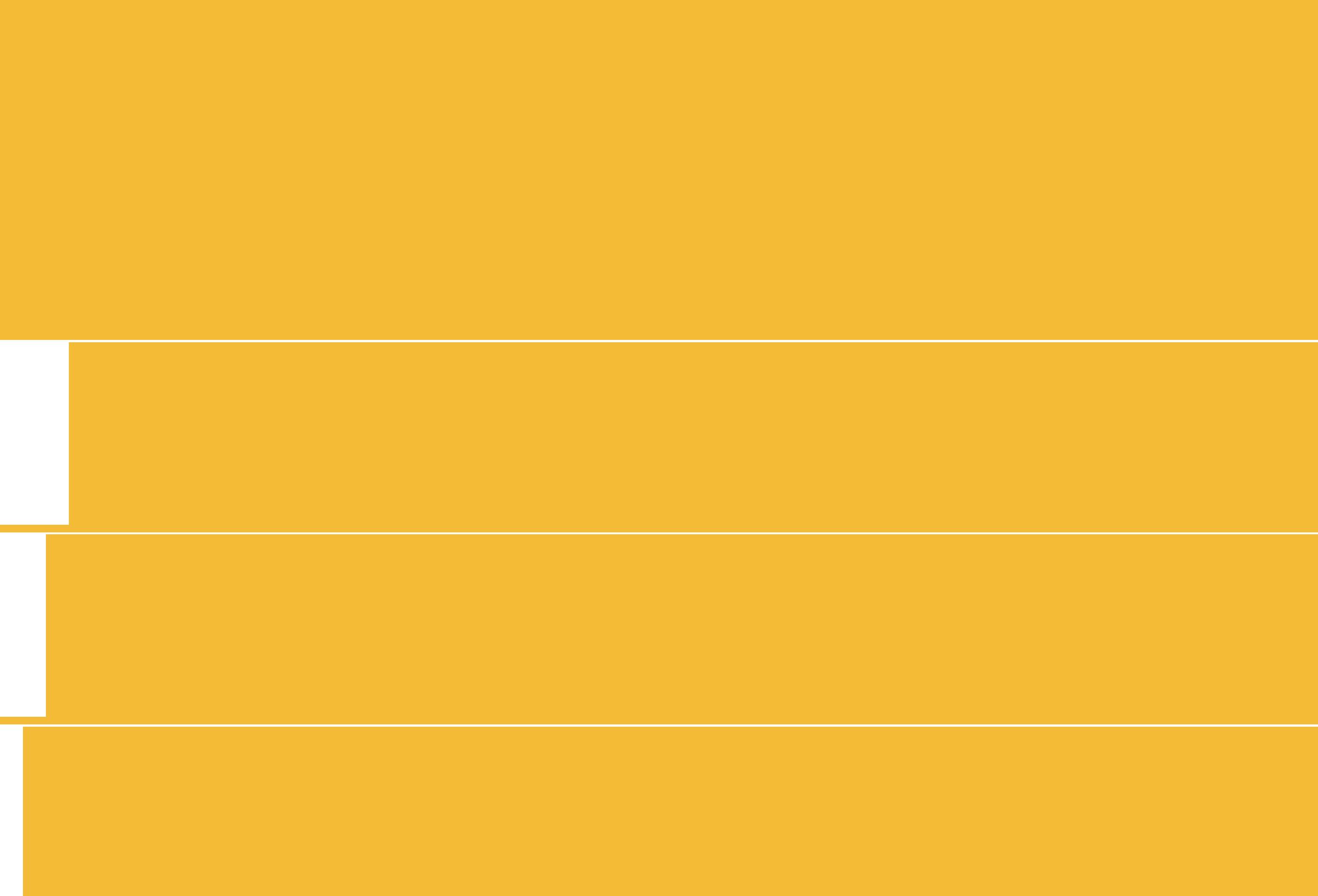


Reabilitação Sustentável para Lisboa

Escola Básica EB1
Anos 80





ÍNDICE

FICHA TÉCNICA

Título

Reabilitação Sustentável para Lisboa - Escola Básica EBI, Benfica, anos 80, Lisboa

Edição

Desenvolvido pela Lisboa E-Nova - Agência Municipal de Energia - Ambiente de Lisboa no âmbito do projecto Reabilitação Sustentável para Lisboa

Financiamento

EEA Grants - Mecanismo Financeiro do Espaço Económico Europeu - Fundo ONG

- Componente Ambiente

ANACOM - Autoridade Nacional de Comunicações

EDP - Energias de Portugal, SA

REN - Redes Energéticas Nacionais, SGPS, SA

Autores

Lisboa E-Nova - Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa

Edifícios Saudáveis Consultores

Fotografias

Lisboa E-Nova

Edifícios Saudáveis Consultores

Design Gráfico e Produção

Lisboa E-Nova

AddSolutions

Tiragem

500 exemplares

Agradecimentos

A todos os especialistas e instituições que contribuíram para os conteúdos deste documento.

Informação Adicional

Lisboa E-Nova - Agência Municipal de Energia - Ambiente de Lisboa

Rua dos Fanqueiros, n.º 38, 1.º, 1100-231 Lisboa

Tel. +351 218 847 010; Fax +351 218 847 029

www.lisboaenova.org; info@lisboaenova.org

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Apresentação | 06 |
| 2 | Enquadramento Legal da Reabilitação Energética de Edifícios | 08 |
| 2.1 | PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética | 09 |
| 2.2 | SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios | 09 |
| 2.3 | RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios | 11 |
| 2.4 | ITED - Infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios | 12 |
| 3 | Introdução ao Edifício | 14 |
| 4 | Trabalho Desenvolvido | 22 |
| 5 | Resultados | 26 |
| 5.1 | Matriz energética do edifício | 28 |
| 5.2 | Simulação da matriz energética do edifício | 28 |
| 5.3 | Oportunidades de intervenção | 29 |
| 5.4 | Análise custo - benefício | 40 |
| 6 | Síntese e Conclusões | 46 |

Apresentação

A reabilitação de edifícios constitui uma área com enorme potencial de intervenção e de grande relevância para a cidade de Lisboa, que procura sistematizar e dinamizar o seu processo de qualificação do meio edificado.

Neste contexto, e com o objectivo de liderar através de boas práticas, a Lisboa E-Nova, com o apoio financeiro do programa EEA-Grants, da ANACOM, EDP e REN, promoveu o projecto Reabilitação Sustentável para Lisboa.

Em colaboração com várias entidades, nomeadamente a Câmara Municipal de Lisboa, a ADENE - Agência para a Energia, a Gebalis EEM - Gestão dos Bairros Municipais de Lisboa, o IGESPAR - Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico, o IHRU - Instituto de Habitação e Reabilitação Urbana e o programa MIT Portugal - Sistemas Sustentáveis de Energia, foram analisados quatro edifícios municipais, de tipologias características do parque edificado de Lisboa, no sentido de definir a matriz energética destes edifícios e identificar as oportunidades de intervenção que permitem melhorar o desempenho energético deste património.

Este trabalho surge no contexto dos regulamentos publicados a 4 de Abril de 2006, que regulam o desempenho energético-ambiental dos edifícios, designadamente o Decreto-Lei 78/2006 que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o Decreto-Lei 79/2006 que aprova o Regula-

to dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei 80/2006, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

As boas práticas identificadas e apresentadas nesta publicação permitirão aos proprietários de edifícios similares, adoptar medidas que promovam a melhoria da eficiência energética e conseqüente redução da factura energética do seu edifício, aumentando simultaneamente as condições de conforto e salubridade dos seus ocupantes.

2

Enquadramento legal da reabilitação energética de edifícios

- 2.1 PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
- 2.2 SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios
- 2.3 RCCTE - Regulamento das Características de Conforto Térmico de Edifícios
- 2.4 RMUEL - Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação de Lisboa
- 2.5 ITED - Infra-Estruturas de Telecomunicações em Edifícios

Enquadramento legal da reabilitação energética de edifícios

2.1 PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, 20 de Maio

No contexto do PNAEE foram definidas várias acções com vista a promover o aumento da optimização do desempenho energético de edifícios de serviços, nomeadamente de escolas.



A área Residencial e Serviços integra a medida 3.2.2 - Eficiência nos Serviços que apresenta como um dos objectivos a promoção da instalação de sistemas solares térmicos e de micro-geração em escolas.

No programa 5.1 Eficiência Energética no Estado, a área dos edifícios contempla vários objectivos, nomeadamente aplicáveis ao parque escolar público.

A medida 5.1.1.4 prevê a instalação de sistemas de micro-geração em 50% do parque escolar num total de 2500 escolas públicas onde este investimento tenha viabilidade. Prevê-se, assim, instalar uma capacidade total de 15MW, até 2015.

Este programa considera, também, a renovação do parque escolar, ainda que não tenham sido traçados objectivos concretos no PNAEE.

2.2 SCE - Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios

Decreto-Lei n.º 78/2006, 6 de Abril

O Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios veio estabelecer que todos os edifícios, incluindo os existentes, envolvidos num processo de transacção comercial de arrendamento ou venda do imóvel, são obrigados a cumprir o SCE. Os proprietários destes edifícios/fracções devem apresentar o certificado energético e da qualidade do ar interior do edifício/fracção correspondente, de modo a concretizar a operação comercial.

Os edifícios existentes não têm imposição de classe mínima nem obrigatoriedade de instalação de sistemas solares térmicos.

Na Figura 01 é apresentada um exemplo de certificado energético para uma fracção de serviços que cumpra o RSECE.

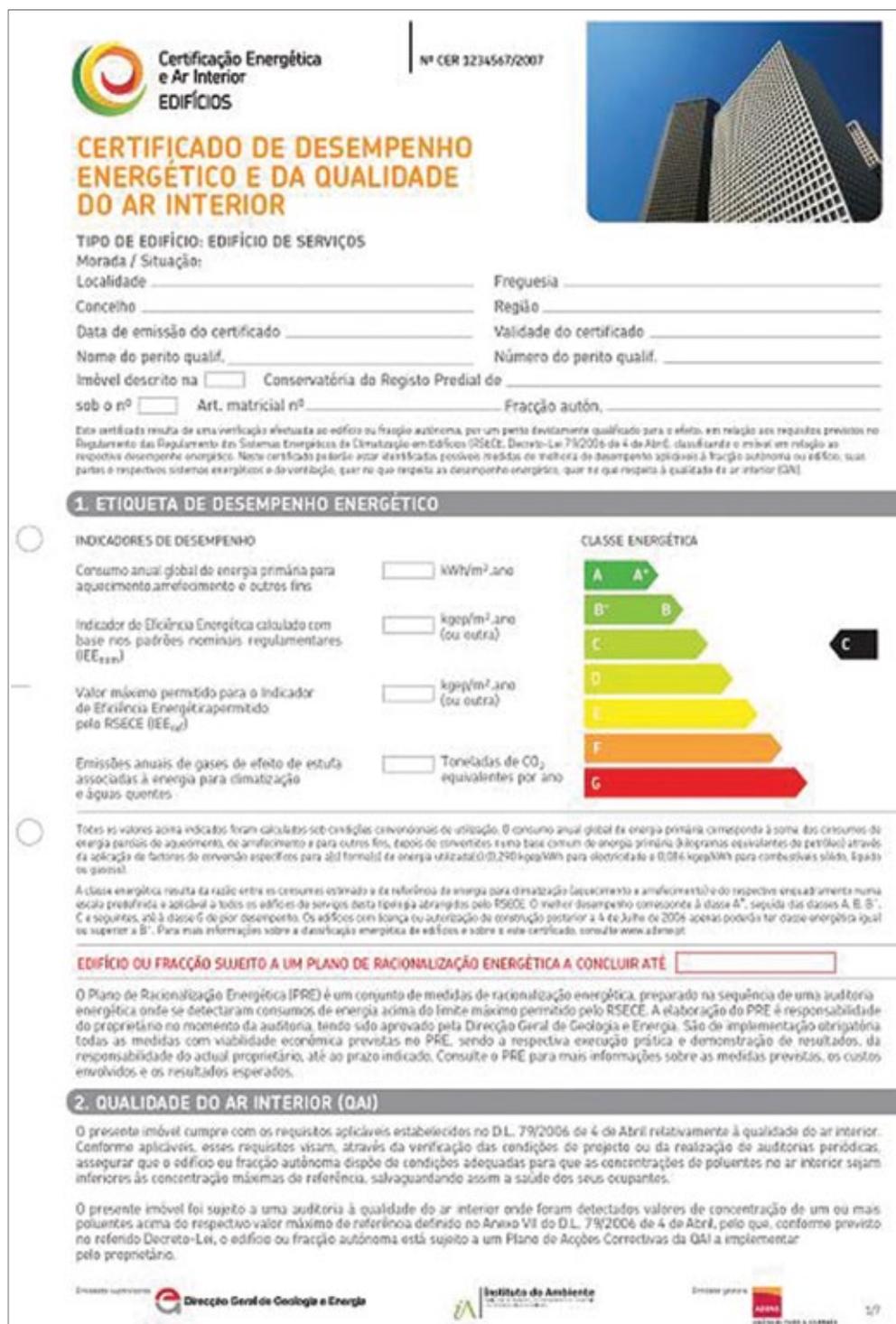


Figura 01 Exemplo de um certificado energético para edifícios de serviços (Fonte: ADENE, 2008)

2.3 RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

Decreto-Lei n.º 79/2006, 6 de Abril

Uma grande reabilitação constitui uma boa oportunidade para intervir no edifício ao nível dos diversos aspectos que podem influenciar o seu desempenho energético, como a sua envolvente, as instalações mecânicas de climatização e os demais sistemas energéticos.

O RSECE veio estabelecer requisitos de qualidade do ar interior e desempenho energético em edifícios de serviços novos e/ou reabilitados com mais de 1.000m² ou potência de climatização superior a 25kW. Nestes edifícios, a eficiência dos sistemas de climatização e iluminação é um dos principais critérios na atribuição da classe energética (Fonte: ADENE, 2008).

O RSECE foi aprovado com os seguintes objectivos:

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene nos diferentes espaços dos edifícios, de acordo com as respectivas funções;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios, promovendo a sua limitação para padrões aceitáveis, em edifícios novos ou existentes;
- Impor regras de eficiência aos sistemas de climatização, que permitam melhorar o seu desempenho energético e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, a nível do projecto, instalação e funcionamento/manutenção;
- Estes edifícios ficam sujeitos à realização de auditorias energéticas obrigatórias de

6 em 6 anos, e a inspeções às caldeiras e sistemas de ar condicionado. A verificação dos requisitos do RSECE passa pela caracterização da envolvente, pela limitação da potência a instalar ao nível dos sistemas energéticos, pela identificação de medidas de melhoria, desenvolvimento de um plano de manutenção obrigatório e manutenção dos requisitos de qualidade do ar interior (taxa de renovação do ar e concentração de poluentes);

De acordo com este decreto, em escolas, o valor limite para os consumos globais específicos em edifícios existentes é de 15kgep/m². ano.

Relativamente à qualidade do ar interior, a avaliação é realizada ao nível de parâmetros químicos (partículas em suspensão, dióxido de carbono, monóxido de carbono, ozono, formaldeído e compostos orgânicos voláteis), parâmetros microbiológicos (bactérias, fungos, radão) e parâmetros físicos (temperatura e humidade relativa).

Tabela 01 Valores limite de concentração de poluentes em edifícios de serviços (Fonte: RSECE, 2006)

| Parâmetro | Concentração limite em sala de aula |
|--|--|
| TVOCs (compostos orgânicos voláteis) | 0.6 mg/m ³ |
| CO ₂ (dióxido de carbono) | 1.800 mg/m ³ |
| O ₃ (ozono) | 0.2 mg/m ³ |
| CO (monóxido de carbono) | 4,4 mg/m ³ |
| PM ₁₀ (partículas em suspensão) | 0,11 mg/m ³ |
| HCHO (formaldeído) | 0.1 mg/m ³ |
| Bactérias | 428 UFC/m ³ |
| Fungos | 500 UFC/m ³ |
| Radão | 400 Bq/m ³ (quando aplicável) |
| Legionella | 100 UFC/m ³ |

2.4 ITED - Infra-estruturas de telecomunicações em edifícios

O sucesso das intervenções de reabilitação energética e a avaliação dos efectivos resultados dos investimentos realizados só é validável através da monitorização e aferição das reduções conseguidas ao nível dos consumos energéticos. É nesta base que se define o conceito de *smart cities*, ou seja, uma cidade que utiliza de forma inovadora as novas tecnologias de informação e comunicação, potenciando o desenvolvimento de um ambiente urbano mais inclusivo, diversificado e sustentável.

Os novos regulamentos ITED - Especificações Técnicas das Infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios, em vigor desde Janeiro de 2010, foram revistos e reforçam a qualidade das infra-estruturas de comunicações e a sua consistência técnica, tornando obrigatória a adaptação dos edifícios às Redes de Nova Geração, de elevada longevidade e capacidade de adaptação sustentada.

Numa sociedade cada vez mais consciente e dinâmica, é essencial dotar os edifícios de sistemas de gestão inteligentes que tirem partido de serviços inovadores, de entre os quais importa destacar não só os associados à segurança de pessoas e bens, mas também ao conforto, economia e qualidade de vida. Neste último parâmetro são claramente identificáveis os serviços associados à utilização de energias renováveis, à regulação automática de temperatura e humidade, ao ajuste automático de iluminação natural e artificial, e ao telecontrolo e controlo à distância, entre outros.

Urge, assim, considerar nas intervenções de reabilitação energética a adequação destes edifícios às novas normas das infra-estruturas de telecomunicações.

Neste contexto importa ainda referir os critérios definidos no ITED relativamente às redes de cabos e de tubagens a instalar, obrigatoriamente, em edifícios escolares (Tabela O2 e O3).

Tabela O2 Redes de cabos a instalar em edifícios escolares (Fonte: Manual ITED - Especificações Técnicas das Infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios)

| EDIFÍCIOS ESCOLARES: REDES DE CABOS - PRESCRIÇÕES MÍNIMAS | | | |
|---|--|---------------------------------|--|
| | Pares de cobre | Cabos Coaxiais CATV | Fibra Óptica |
| Ligações entre PD | Categoria 6 UTP 4 Pares - 1 cabo por PD Garantia da Classe E | TCD-C-H CATV - 1 cabo por PD | OSI 1 cabo de 4 fibras por PD OF-300 |
| Ligações a partir dos PD | Categoria 6 UTP 4 Pares - 1 cabo por TT Garantia da Classe E | TCD-C-H CATV - 1 cabo por TT | A definir pelo projectista |

- A rede de pares de cobre, a rede de fibra óptica e a rede de CATV seguem, obrigatoriamente, a topologia de distribuição em estrela, para jusante dos PD considerados.
- O projecto da rede de cabos a partir dos PD, onde se inclui a definição do número de tomadas, está dependente das necessidades do cliente.
- Recomenda-se a existência de uma tomada de PC e CC por divisão, onde se incluem as salas de aula, laboratórios, salas de reuniões, refeitórios e bares.
- Recomenda-se a instalação de 1 rede de distribuição de MATV.

Tabela O3 Redes de tubagens a instalar nos edifícios escolares (Fonte: Manual ITED - Especificações Técnicas das Infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios)

| EDIFÍCIOS ESCOLARES: REDES DE CABOS - PRESCRIÇÕES MÍNIMAS | | | |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
| | Pares de cobre | Cabos Coaxiais CATV | Fibra Óptica |
| | 1 tubo de Ø40mm, ou equivalente | 1 tubo de Ø40mm, ou equivalente | 1 tubo de Ø40mm, ou equivalente |
| Ligações entre PD | <ul style="list-style-type: none"> • 1 PD (bastidor) em cada piso comum às tecnologias. • Caso a área seja superior a 1000m², devem ser instalados PD adicionais (dimensões mínimas a definir pelo projectista). • Em cada ponto de distribuição deve existir energia eléctrica. • PAT: 2 tubos de Ø40mm, ou equivalente. | | |
| Ligações a partir dos PD | <ul style="list-style-type: none"> • A tubagem é partilhada por todos os tipos de cabos. • Utiliza-se tubo de Ø20mm, ou equivalente. • Deve considerar-se uma distância máxima de 90m entre o último PD e as TT (cablagem horizontal). | | |

- Em qualquer situação, o dimensionamento das condutas deve ser efectuado através das fórmulas respectivas.

Introdução ao Edifício

A Escola Básica n.º 52, pertencente ao Agrupamento de Escolas Pedro de Santarém, foi edificada em 1981, dentro do conceito da escola tipo P3, característica da época. Esta nova tipologia de escola caracterizava-se por funcionar em regime de “área aberta”, sem paredes a isolar as salas de aula. Terminada esta experiência, professores e educadores, não achando funcional este sistema por causa do ruído, pediram que as salas fossem isoladas, o que foi feito com paredes pré-fabricadas de alumínio, vidro e madeira.

Ao nível da organização espacial do edifício, é uma escola com 4 núcleos, integrando cada um deles três salas de aula por cada ano de escolaridade, zonas de trabalho numa área comum e respectivas instalações sanitárias. Possui, ainda, um polivalente, uma cozinha com refeitório, um gabinete administrativo, uma sala

de informática, uma sala de professores e uma pequena biblioteca. A escola tem um grande pátio exterior, com campo de jogos onde os alunos praticam actividades livres.



Figura 02 Vista geral do edifício.

O edifício em análise situa-se na Rua Jorge Barradas em Benfica, numa zona envolvida por prédios de habitação e conta com uma área total de 9000 m². A área de implantação da escola é de 894m², distribuídos por dois pisos, cada com uma área útil de 1413 m² (Tabela O4).

Tabela O4 Caracterização do edifício

| | |
|---------------------------------------|------|
| Área de implantação [m ²] | 894 |
| Área de construção [m ²] | 1413 |
| N.º de pisos | 2 |
| Pé direito [m] | 2,7 |

Palas de sombreamento

Palas resultantes do avanço da placa de fibrocimento, colocadas na cota máxima dos edifícios

Orientação



Tabela 05 Caracterização dos elementos construtivos opacos

| Elemento | Descrição (elementos relevantes) (ext → int) | Coefficiente global de transmissão de calor [W/m ² ·°C] | Notas |
|--------------------|---|--|--|
| Parede exterior | Tinta clara + reboco exterior (e = 20 mm) + tijolo furado (e = 70 mm) + caixa de ar (e = 80 mm) + tijolo furado (e = 110 mm) + reboco interior (e = 20 mm) + tinta clara | U = 1,40 | |
| Laje (cobertura) | Placa de Fibrocimento, + caixa de ar (e = 100 mm) + camada de betão leve de regularização + laje aligeirada (e = 150 mm), + reboco interior (e = 20 mm) | U _{inv} = 1,30 U _{ver} = 1,20 | Tipologia de acordo com o projecto e com a visita. Os valores de "U" foram definidos com base nas propriedades dos materiais do ITE 50. |
| | Tinta clara + camada de betão leve de regularização + laje aligeirada (e = 150 mm), + reboco interior (e = 20 mm) | U _{inv} = 1,65 U _{ver} = 1,50 | |
| | Placa de Fibrocimento, + caixa de ar (e = 100 mm) + camada de betão leve de regularização + laje aligeirada (e = 150 mm), + reboco interior (e = 20 mm) + placa de cortiça (e = 10 mm) | U _{inv} = 1,10 U _{ver} = 1,00 | |
| Laje (piso térreo) | Tela impermeabilizante + laje de betão (e = 150 mm) + ladrilho (e = 8 mm) | U = 3,15 | |
| | Tela impermeabilizante + laje de betão (e = 150 mm) + taco (e = 15 mm) | U = 1,80 | |

ITE50: Pina dos Santos, C. e Matias, L. (2006) Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, LNEC

Tabela 06 Caracterização dos elementos construtivos transparentes

| Elemento | Descrição (elementos relevantes) (ext → int) | Coefficiente global de transmissão de calor [W/m ² ·°C] | Notas |
|--------------------------|--|--|---|
| Tipo de vidro | Vidro simples incolor (e = 6 mm) | U = 5,7 W/m ² °C | Valor de catálogo para um vidro simples de 6 mm. |
| Caixilharia | Alumínio | k = 230 W/m ² °C | - |
| Classe de permeabilidade | Classe I | Taxa de renovação de ar por hora (RPH) =1 | Classe desconhecida. Assumida a pior classe da EN 12207. |
| Sombreamento exterior | Palas resultantes do avanço da placa de fibrocimento, colocadas na cota máxima dos edifícios | - | - |
| Sombreamento interior | Cortinas ligeiramente transparentes | Factor Solar = 0,36 | Valor do factor solar definido com base no RCCTE para o conjunto envidraçado+cortina. |



Imagem

Módulo de envidraçados que se pode observar em várias fachadas.

EN 12207: Norma Europeia 12207 - Janelas e portas - Permeabilidade ao ar - Classificação
ITE 28: SANTOS, C. A. Pina dos; PAIVA, J. A. Vasconcelos (2004), Caracterização térmica de Paredes de Alvenaria. LNEC

O edifício foi caracterizado de acordo com o levantamento realizado durante a visita ao local.

Na ausência dos dados necessários foram assumidos os padrões definidos no RSECE, nomeadamente na definição dos perfis de utilização do edifício. Para o cálculo das necessidades energéticas foram identificados os equipamentos tipo.

Os consumos energéticos mais relevantes no edifício são:

- iluminação;
- equipamentos nas salas de aula;
- equipamentos de cozinha;
- sistema de aquecimento de água sanitária;
- aquecedores eléctricos (efeito de "Joule").



Figura 03 Envolvente da escola



Figura 04 Ginásio da escola

Iluminação

Ao nível da iluminação verificou-se a existência de lâmpadas fluorescentes tubulares T8; com uma potência média instalada de 10W por m², com balastros electromagnéticos. O período de funcionamento foi definido de acordo com perfil de funcionamento para edifícios escolares identificado no RSECE, ou seja, 1990 horas anuais. (Gráfico 01).



Figura 05 Luminária nas salas de aula

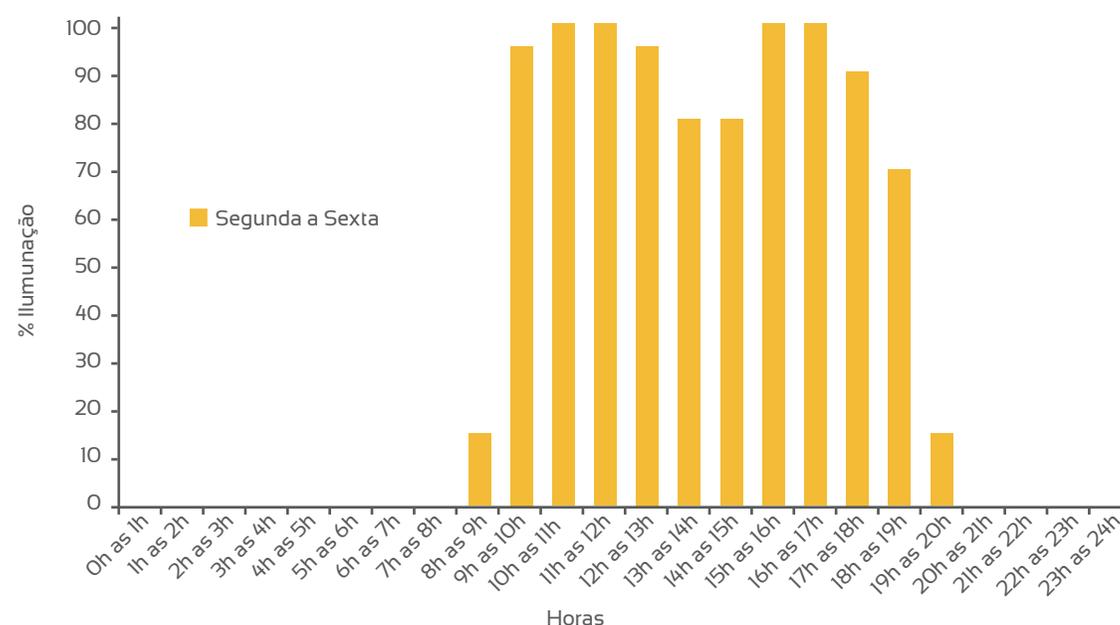


Gráfico 01 Perfis de carga para a iluminação em "Estabelecimentos de Ensino" (Fonte: RSECE, 2006)

Localmente foram identificadas as potências de iluminação instaladas na cozinha e no refeitório, respectivamente de 12W/m² e 10W/m².

Os perfis de funcionamento foram definidos de acordo com as indicações do RSECE relativas ao perfil de utilização do sistema de iluminação em estabelecimentos escolares, ou seja, 1560 horas de funcionamento na cozinha e 1823 horas de funcionamento no refeitório.



Figura 06 Perspectiva do refeitório à hora de almoço

Equipamentos

Ao nível dos equipamentos, a escola dispõem de computadores na sala de informática e em algumas salas de aula, de equipamentos audiovisuais no ginásio, computadores, impressora e fax na sala dos professores e equipamentos associados à confecção de refeições na cozinha.

A potência instalada, e o número de horas de funcionamento dos equipamentos existentes, foram assumidos de acordo com as indicações do RSECE relativas ao perfil de utilização de equipamentos em escolas. Nas salas de aula e salas de informática foram assumidas potências de 5W/m² e 105 W/m² respectivamente e um horário de funcionamento de 1993 horas/ano.

Na cozinha a potência especificada pelo RSECE é de 250 W/m² para equipamentos e 8 W/m² para o sistema de ventilação. São assumidas 1560 horas de funcionamento anuais.

Quer a preparação de refeições, como a preparação de águas quentes sanitárias são feitas a partir de gás natural. Com base nas facturas disponíveis foi possível identificar um consumo anual de gás natural de 31 MWh. Desagregando, equitativamente, este consumo por ambas as utilizações concluí-se que a fracção destinada à produção de águas quentes sanitárias, utilizando um esquentador convencional com rendimento médio anual de 87%, é responsável pela produção de 1400 L/água quente.dia (considerando uma temperatura de aquecimento de 65° C, ou seja um diferencial médio de temperatura de 45°), o que representa menos de 10% do consumo de água da escola.



Figura 07 Perspectiva da cozinha

Climatização dos espaços

O edifício em análise não contempla sistemas de ventilação e dispõe apenas de aquecedores eléctricos por efeito de Joule em alguns dos espaços.

Ocupação

Os níveis de ocupação efectiva das salas de aula e demais espaços foram aferidos durante a visita ao local, tal como apresentado na Tabela 07.

Os perfis de ocupação assumidos são os definidos pelo RSECE e apresentados no Gráfico 02

Tabela 07 Perfil de ocupação

| Zona | m ² /pessoa | Total |
|---------------------|------------------------|-------|
| Salas de Aula | 2 | 324 |
| Refeitório | 1 | 117 |
| Sala de informática | 2 | 10 |
| Outros | 10 | 45 |

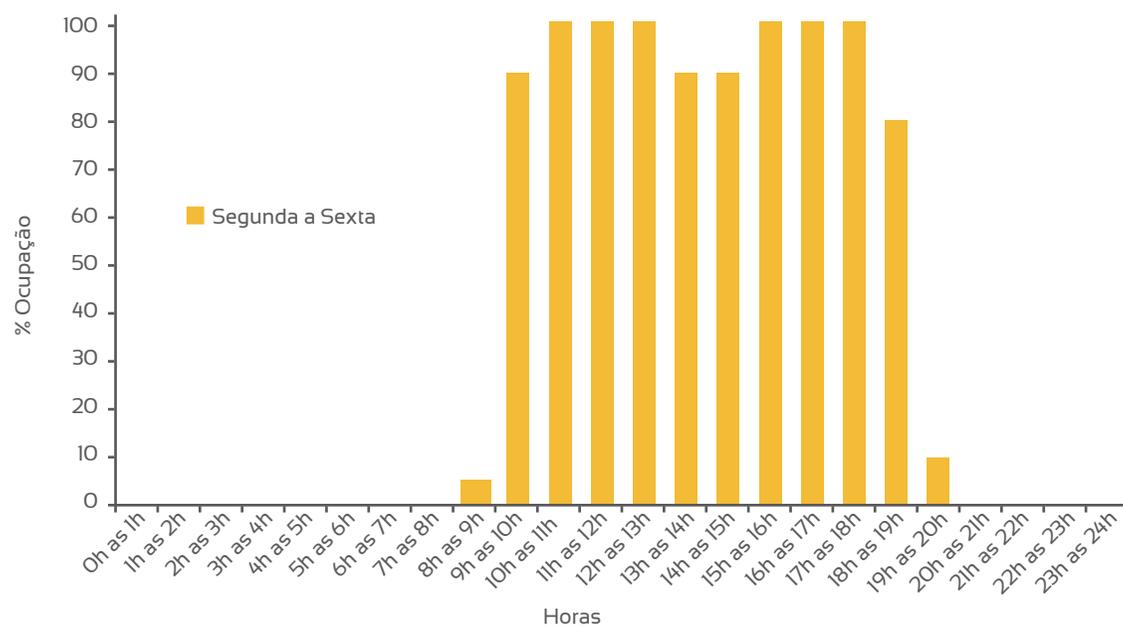


Gráfico 02 Perfis de carga para a ocupação em "Estabelecimentos de Ensino" (Fonte: RSECE, 2006)

Trabalho Desenvolvido

A análise do desempenho energético do edifício foi desenvolvida através da sua simulação energética detalhada recorrendo ao software Energy Plus, versão 2.2.



Trata-se de um programa de simulação energética detalhada em edifícios, vocacionado para a modelação de sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e outros fluxos energéticos. Permite estimar os consumos energéticos através da simulação dos ganhos energéticos do edifício tendo em consideração os elementos construtivos, os equipamentos que comandam o seu funcionamento, a sua localização e a influência dos agentes externos.

Paralelamente à simulação energética, foram consultadas as facturas de energia, electricidade e gás natural do edifício, o que permitiu aferir os resultados da simulação relativamente à situação real, validando os resultados do modelo.



Figura 08 Modelo de simulação, vista geral

Aquecimento e ventilação dos espaços

O edifício em análise não contempla sistemas de aquecimento centralizado nem sistemas de ventilação mecânicos que assegurem a necessária taxa de renovação do ar nas salas de aulas e demais espaços.

Para os efeitos deste trabalho, tendo em consideração que o objectivo é simular as condições de funcionamento de um edifício facilmente extrapoláveis para edifícios similares, considerou-se a existência de um sistema de aquecimento central responsável pelo aquecimento de toda a área da escola e de um sistema de ventilação mecânica.

O sistema de aquecimento considera a existência de uma caldeira a gás natural, com distribuição de água quente por radiadores convectores instalados pelos diferentes espaços. Assume-se que este sistema é responsável pela manutenção da temperatura do ar dos espaços a 20°C ao longo da estação de aquecimento das 8 às 20h.

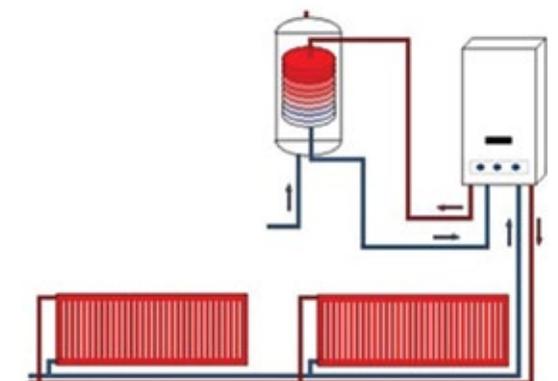


Figura 09 Esquema de sistema de aquecimento central (Fonte: www.tt-lda.pt)

Para o sistema de ventilação mecânica foram assumidas as seguintes características:

- Admissão: grelhas auto-reguláveis de fachada, localizadas na zona de influência dos radiadores, para minimizar situações de desconforto devido a correntes de ar frio,
- Extracção: ventiladores mecânicos com uma potência específica de 1,7 kW/m³.s, conforme indicado na ASHRAE 90.1.

Este sistema dá resposta às necessidades de ar exterior de cada divisão, de acordo com a Tabela O8.

Não foi simulada a existência de um sistema de arrefecimento dos espaços, por exemplo ar condicionado, uma vez que a escola se encontra sem actividades lectivas durante o período de Verão (aproximadamente entre 15 de Junho e 15 de Setembro), o que faz com que este seja um investimento muito elevado para o reduzido período de funcionamento.

Tabela O8 Necessidades de ar exterior de algumas zonas

| Espaço | Área [m ²] | Ocupação [pessoas] | Ar exterior [m ³ /h. pessoas] | Potência de admissão [W] | Notas |
|---------------|------------------------|--------------------|--|--------------------------|---|
| Salas de aula | 51,8 | 27 | 30 | 383 | Potência específica de 1,7 kW/m ³ .s |
| Refeitório | 116,6 | 117 | 35 | 1934 | |
| Ginásio | 116,6 | 12 | 30 | 170 | |
| Cozinha | 45,3 | 5 | 30 | 70 | |

Em termos de custos, valores de conversão e emissões, foram utilizados os valores que constam na Tabela O9.

Tabela O9 Valores de conversão energética, emissões e custos de energia

| Descrição | Preço | Unidade | Fonte |
|--|-------|---------------------------|-----------------------------|
| Custo da electricidade | 0,114 | [€/kWh] | Facturas EDP, 2009 |
| Custo do gás natural | 0,068 | [€/kWh] | Facturas Galp Energia, 2009 |
| Conversão da electricidade em energia primária | 0,290 | [kgep/kWh] | RCCTE, 2006 |
| Conversão do gás natural em energia primária | 0,086 | [kgep/kWh] | RCCTE, 2006 |
| Factor de emissão da electricidade | 0,470 | [kg CO ₂ /kWh] | Portaria 63/2008 |
| Factor de emissão do gás natural | 0,202 | [kg CO ₂ /kWh] | Instituto do Ambiente |

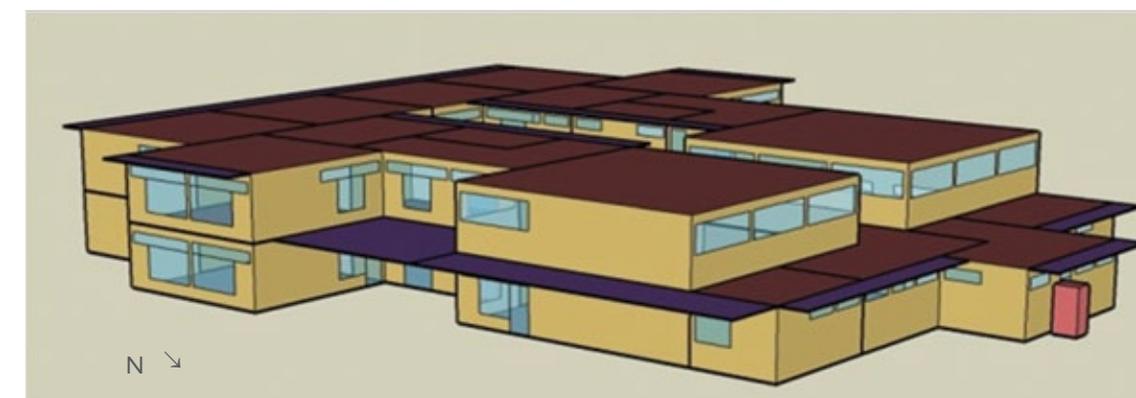


Figura 10 Modelo de simulação, pormenor da fachada tardoz

5

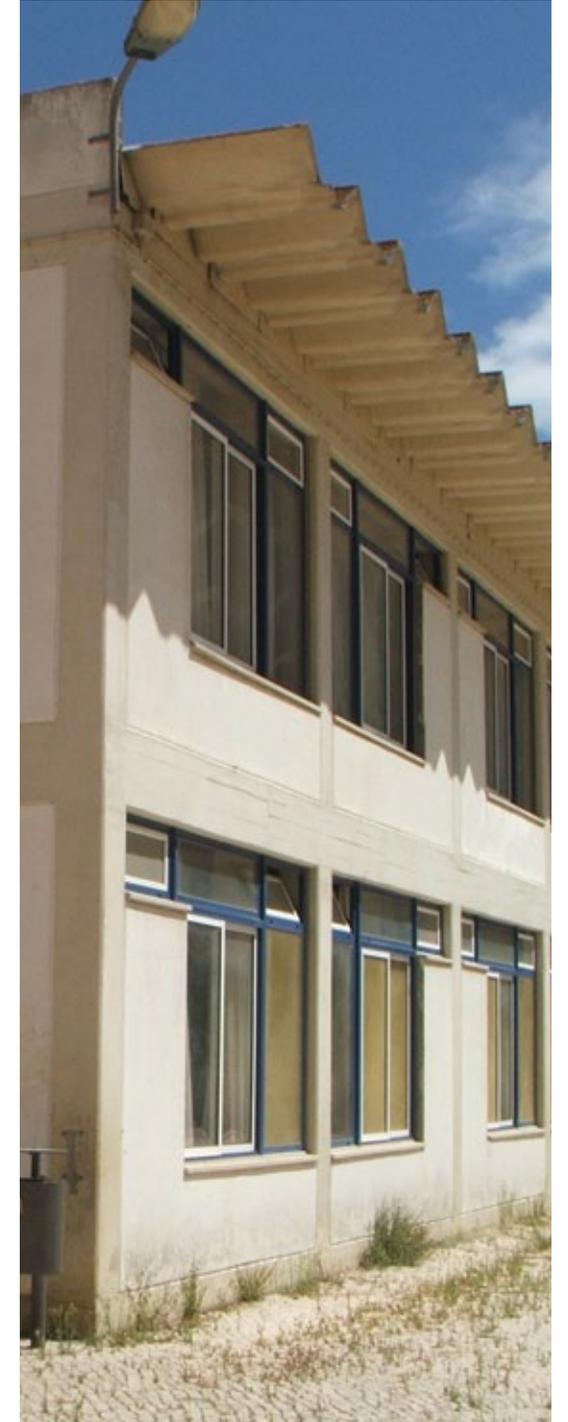
Resultados

- 5.1 Matriz energética do edifício
- 5.2 Simulação da matriz energética do edifício
- 5.3 Oportunidades de intervenção
- 5.4 Análise custo - benefício

Resultados

Os resultados do trabalho desenvolvido são apresentados em quatro fases:

- Matriz energética do edifício;
- Simulação da matriz energética do edifício;
- Oportunidades de intervenção;
- Análise custo - benefício.



5.1 Matriz energética do edifício

Os dados de facturação real foram obtidos junto do parceiro do projecto EDP, mediante a devida autorização por parte da CML.

Tabela 10 Matriz Energética: Simulação vs Valores reais

| Tipologia | Simulação [MWh/ano] | Facturas [MWh/ano] | Diferença |
|---------------|---------------------|--------------------|-----------|
| Electricidade | 46,7 | 59,7 | 22% |
| Gás Natural | 70,1 | 31 | 129% |

A diferença entre os consumos simulados e os reais deve-se ao factor real de utilização da iluminação, superior ao nominal estabelecido no RSECE e que serviu de base à simulação, e à não consideração dos aquecedores eléctricos de efeito Joule na simulação. A diferença nos consumos de gás natural reflecte a simulação do sistema de aquecimento central (Gráfico 03).

5.2 Simulação da matriz energética do edifício

A matriz energética do edifício consiste na desagregação dos consumos totais de energia do edifício pelas diferentes formas de energia final (electricidade e gás) e pelas diferentes utilizações (aquecimento de água sanitária, iluminação, electrodomésticos, etc.) (Gráfico 04 e 05).

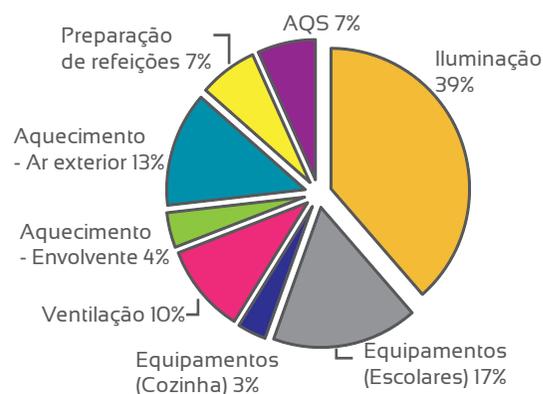


Gráfico 04 Matriz energética do edifício: valores relativos de energia primária

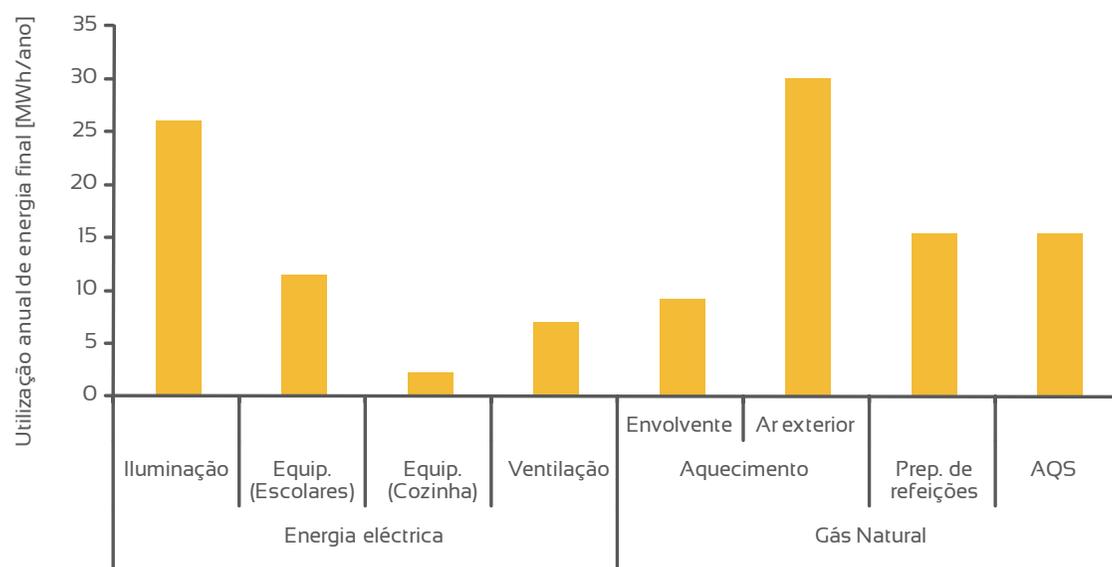


Gráfico 03 Valores da simulação dos consumos energéticos em energia final

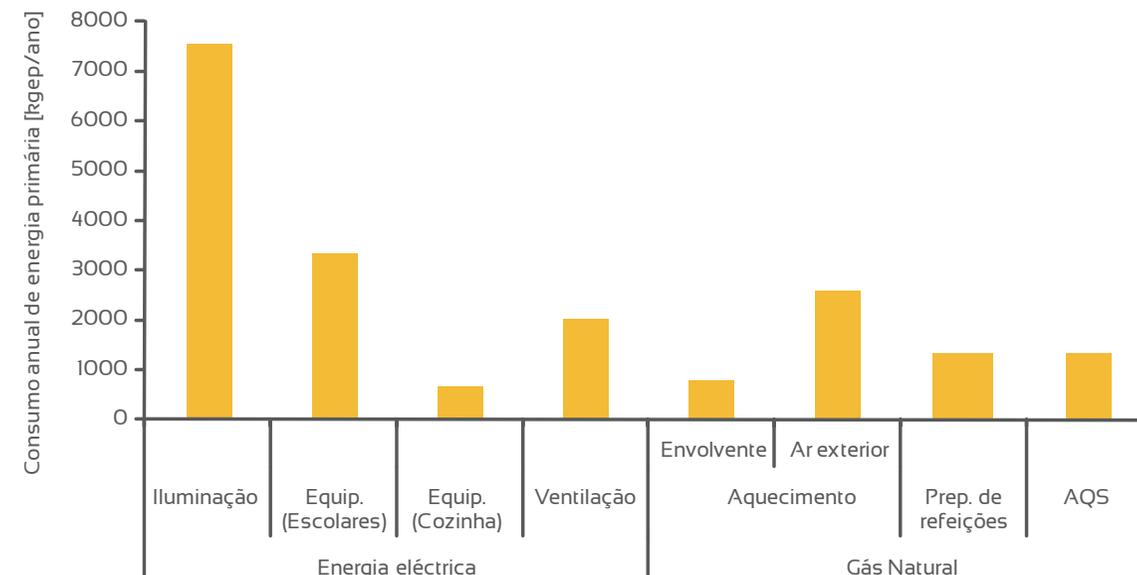


Gráfico 05 Matriz energética do edifício - desagregação dos valores absolutos de energia primária por tipologia de consumo

5.3 Oportunidades de Intervenção

As oportunidades de intervenção foram analisadas ao nível da envolvente do edifício, da instalação de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis, e da substituição de equipamentos e sistemas de iluminação.

Ao nível da envolvente do edifício foi estudada a aplicação de isolamento térmico nas paredes, coberturas e pavimentos e a reabilitação dos vãos envidraçados.

Na integração de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis foi avaliada a adopção de painéis solares térmicos para a produção de águas quentes sanitárias e de painéis fotovoltaicos para produção de electricidade.

Na substituição de equipamentos e sistemas de iluminação existentes foi considerada a aquisição de equipamentos mais eficientes do ponto de vista do consumo energético.

Isolamento exterior de fachadas, cobertura e pavimentos

O isolamento térmico de edifícios é fundamental para garantir o conforto térmico durante todo o ano, uma vez que este material tem como principal característica atenuar as diferenças climáticas sentidas no interior e exterior dos edifícios. Para além do conforto e da redução de custos com equipamentos de aquecimento/arrefecimento e consumos de energia, um bom isolamento das paredes exteriores, coberturas e pavimentos conduz a uma diminuição de perdas de calor para o exterior no Inverno e reduz os ganhos de calor no Verão.

A aplicação de isolamento térmico pode fazer-se pelo interior e pelo exterior. No entanto, a melhor opção em termos de manutenção da inércia térmica do edifício e de manutenção das áreas no interior do edifício, é o isolamento pelo exterior.

Na escolha dos materiais de isolamento a utilizar, deve ser considerado o coeficiente

de transmissão térmica U ($W/m^2.C$), uma medida da quantidade de calor, por unidade de tempo, que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa (Fonte: RCCTE, 2006). Em materiais isolantes, este indicador é tanto melhor quanto mais baixo for o seu valor.

Para além das propriedades térmicas, dependendo da aplicação, deve ser considerada a durabilidade dos materiais, a compressibilidade, a estabilidade dimensional, o comportamento à água, o comportamento mecânico e a permeabilidade ao vapor.

Em alternativa, sobretudo do ponto de vista da natureza dos materiais constituintes, é possível a utilização do aglomerado negro de cortiça como camada de isolamento por se tratar de um material de origem natural com excelentes propriedades térmicas.

A solução a adoptar para o isolamento térmico de fachadas é particularmente importante uma vez que a exposição do isolamento a elementos erosivos é muito elevada. Como tal, a solução técnica a instalar deve salvaguardar quatro aspectos essenciais:

- Camada de adesivo integral na placa de isolamento, que assegure a impossibilidade de existirem fenestraçãoes entre o reboco e o painel;
- Fixação adicional dos painéis com cavilhas em polipropileno, que assegure a estabilidade dos painéis, reforçando a acção do adesivo integral;

- Colocação de rede de fibra de vidro entre o isolamento e o acabamento, pois é este elemento que confere resistência mecânica ao isolamento, e
- Acabamento com tinta arenosa do tipo reboco desumidificante com elevada transpirabilidade e hidropelência, que permita ao edifício respirar e manter a impermeabilidade à água.

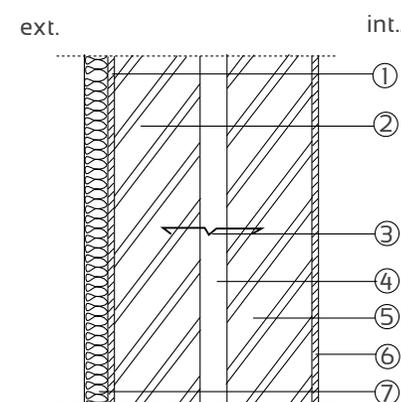


- 1 Camada de reboco pré preparado;
- 2 Adesivo integral;
- 3 Painel isolante e aplicação de cavilhas de polipropileno;
- 4 Barramento em duas demãos, armado com rede em fibra de vidro;
- 5 1ª demão de primário e acabamento
- 6 2ª demão de acabamento

Figura 11 Perspectiva da aplicação de isolamento térmico pelo exterior (Fonte: MAPEL, 2010)

Em edifícios existentes, a aplicação de isolamento térmico pelo exterior deve ser feita com sistemas compósitos do tipo ETICS (da designação inglesa *External Thermal Insulation Composite Systems*), uma vez que as soluções de preenchimento da caixa de ar com isolamento que apenas se aplica a edifícios novos.

No caso em concreto foi analisada a utilização de placas de poliestireno expandido extrudido, EPS, de 20, 30, 40, 60 e 100 mm. De acordo com o ITE 50, a condutibilidade térmica do EPS é de 0.040 $W/m.K$, um dos valores mais baixos de entre os materiais avaliados no manual (Figura 12).



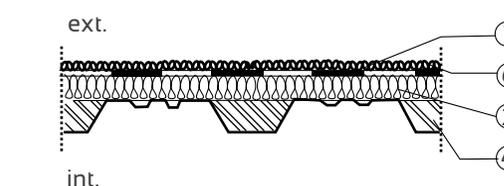
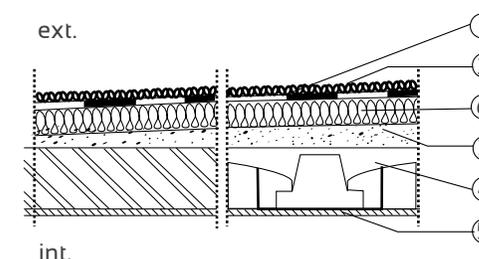
- 1 Revestimento exterior aderente (reboco, pedra,...)
- 2 Pano exterior de alvenaria (de tijolo, de blocos ou de pedra) ou parede de betão
- 3 Estribo de ligação dos panos
- 4 Espaço de ar com drenagem
- 5 Pano interior de alvenaria (de tijolo ou de blocos ou de pedra) ou parede de betão
- 6 Revestimento interior (reboco, estuque, placa de gesso, de madeira, pedra,...)
- 7 Isolamento térmico

Figura 12 Parede dupla com isolante térmico compósito exterior (Fonte: baseado no ITE50)

A cobertura é o elemento construtivo do edifício sujeito às maiores amplitudes térmicas. O isolamento térmico de uma cobertura é considerado uma intervenção de eficiência

energética prioritária, quer face aos benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas, quer por se tratar de uma das medidas mais simples e menos dispendiosas. Para além disso, uma intervenção numa cobertura, realizada para resolver um problema de impermeabilização, facilmente poderá ser "alargada" para incluir a aplicação de isolamento térmico nessa mesma cobertura, sendo o sobrecusto desta solução praticamente equivalente ao custo do material.

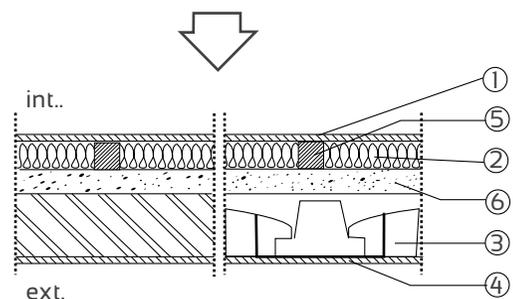
A solução estudada para coberturas horizontais foi a da aplicação de poliestireno expandido extrudido por cima da camada de regularização (placas de 20, 30, 40, 60 e 100 mm), tal como esquematizado na Figura 13.



- 1 Protecção exterior da cobertura (autoprotecção)
- 2 Sistema de impermeabilização
- 3 Camada de forma (betão leve, $e_{med} = 0,10m$)
- 4 Estrutura resistente (laje maciça ou aligeirada, chapa metálica nervurada)
- 5 Revestimento interior (reboco, estuque, pintura,...)
- 6 Isolante térmico (suporte de impermeabilização)

Figura 13 Cobertura horizontal com isolamento térmico aplicado sobre a camada de regularização (Fonte: ITE 50)

Ao nível dos pavimentos foi analisada a aplicação de poliestireno expandido extrudido por baixo do revestimento (placas de 20, 30, 40, 60 e 100 mm);



| | |
|---|---|
| 1 | Revestimento de piso (madeira ou derivados) |
| 2 | Isolante térmico |
| 3 | Estrutura contínua resistente (laje maciça ou aligeirada) |
| 4 | Revestimento de tecto (reboco, estuque, pintura,...) |
| 5 | Estrutura intermédia de madeira |
| 6 | Betonilha de regularização |

Figura 14 Pavimento sobre espaço exterior com isolamento térmico aplicado sobre a camada de regularização (Fonte: ITE 50)

Na Tabela II estão indicados os custos das intervenções de aplicação de isolamento térmico nas paredes de fachada, cobertura e pavimentos.

Foi analisada a aplicação de isolamento térmico com 20, 30, 40, 60 ou 100 mm de espessura. A título de exemplo apresentam-se na Tabela II os custos unitários de aplicação por m² e por área total da intervenção para os isolamentos de 20, 60 e 100mm.

Tabela II Custos das intervenções de aplicação de isolamento térmico nas fachadas, cobertura e pavimento do edifício

| Intervenção | 20mm | | 60mm | | 100mm | |
|----------------------------------|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|
| | €/m ² | € | €/m ² | € | €/m ² | € |
| Paredes exteriores ¹ | 34 | 29000 | 37 | 31110 | 40 | 33820 |
| Cobertura ² | 13 | 11800 | 17 | 15420 | 21 | 19050 |
| Laje do piso Térreo ³ | 33 | 25580 | 42 | 38180 | 50 | 44910 |

¹ Custos baseados numa consulta de mercado.

² Custos baseados numa consulta de mercado.

³ Não inclui a adição de uma camada de regularização sobre o isolamento térmico. O acréscimo implica um sobre custo de 9 €/m²;

Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados são áreas críticas para o conforto térmico, pois conduzem a perdas de calor do interior para o exterior, no Inverno, e ao sobreaquecimento do edifício, no Verão, caso a área envidraçada tenha elevada exposição solar. A reabilitação térmica nos vãos envidraçados é uma medida essencial na optimização do desempenho energético do edifício. Neste sentido a reabilitação dos vãos envidraçados visa reforçar, por um lado a estanquicidade do edifício, através da redução das infiltrações de ar não-controladas e a melhoria da ventilação natural e, por outro, promover o aumento da captação de ganhos solares no Inverno e o reforço da protecção da radiação solar durante o Verão.

Podem identificar-se medidas de intervenção ao nível do tipo de vão, simples ou duplo, ao nível do tipo de caixilharia, metálica, madeira ou plástico, ao nível do tipo de vidro, simples ou duplo e ao nível dos dispositivos de sombreamento, interiores ou exteriores.



Figura 15 Pormenor de vão duplo com janelas de vidro duplo

Caixilharias

As caixilharias são o principal responsável pela definição da taxa de infiltrações e permeabilidade ao ar numa fracção. Actuando não só ao nível das taxas de infiltração de ar, mas também ao nível das condições de salubridade, é necessário assegurar condições de ventilação que garantam as taxas mínimas de renovação de ar, garantindo assim a qualidade do ar interior, e constituindo, também, uma boa solução ao nível acústico e de isolamento sonoro.

De acordo com o ITE 50 as soluções de caixilharias diferenciam-se em função dos materiais utilizados no seu fabrico:

- caixilho metálico (alumínio ou ferro), eventualmente com desempenho térmico melhorado, de que são paradigma os caixilhos com corte térmico;
- caixilho de madeira (pinho ou outras espécies);
- caixilho de plástico (em geral PVC), executado com perfis uni e multicelulares.

Sendo a caixilharia o elemento responsável pela taxa de ventilação dos espaços, quanto mais elevada for a sua classe de estanquicidade, menores são as taxas de ventilação. Se as taxas de ventilação estiverem abaixo das estabelecidas por lei, será necessário assegurar a adequada ventilação dos espaços recorrendo a grelhas de ventilação incorporadas no vão envidraçado.

A caixilharia idealizada para este edifício é uma caixilharia classe 4 que permite a redução da taxa de infiltrações

Em termos de envidraçados a opção foi para vidros duplos que permitem dotar os vãos envidraçados de um bom isolamento térmico e acústico, uma vez que apresentam um valor de coeficiente de transmissão térmica significativamente inferiores ao do vidro simples. Este valor diminui ainda em função do espaçamento entre vidros.



Figura 16 Pormenor do vidro duplo

Tabela 12 Custos das intervenções ao nível dos envidraçados.

| Intervenção | Vidro duplo | | Vidro duplo melhorado | |
|---------------------------|------------------|-------|-----------------------|-------|
| | €/m ² | € | €/m ² | € |
| Envidraçados ¹ | 138 | 49110 | 238 | 84740 |

¹ Custos baseados no "Gerador de preços" CYPE (EEEE), V2008.I.i (Software).

Sistemas Solares Térmicos

Os sistemas solares térmicos são sistemas que utilizam a energia solar para produção de águas quentes sanitárias (e outras aplicações mais avançadas para climatização de edifícios).

No âmbito do RSECE é obrigatório considerar a utilização de colectores solares térmicos para a produção de águas quentes sanitárias de acordo com as necessidades de águas quentes do edifício. A instalação do sistema é obrigatória

se o período de retorno simples do investimento for inferior a oito anos.

No caso da reabilitação de edifícios, e considerando um valor de intervenção superior a 25% do valor patrimonial do edifício (ou fracção) a intervir, a obrigatoriedade de instalação de colectores solares térmicos mantém-se de acordo com os mesmos requisitos exigidos para edifícios novos.

De entre as tecnologias existentes actualmente no mercado, podemos distinguir 3 tipos:

- colectores planos;
- colectores concentradores parabólicos compostos (CPC);
- colectores de tubos de vácuo.

Os mais comuns no mercado português, e que apresentam a melhor relação custo-benefício, são os colectores planos. Os CPCs são mais eficientes que os planos e assumem já uma importante fatia de mercado. Os tubos de vácuo apresentam a tecnologia mais eficiente, sendo o colector mais utilizado nos países Nórdicos, onde os níveis de radiação solar são muito inferiores aos registados em Portugal.

De acordo com o tipo de aplicação, estes sistemas podem ser de termosifão ou de circulação forçada. No primeiro caso, os sistemas são instalados tipo kit, em que o reservatório de água quente está acoplado ao colector. Nos sistemas de circulação forçada o reservatório está localizado no interior do edifício (ou zona adjacente, e não na cobertura).



Figura 17 Sistema Solar Térmico de Termossifão, Kit (Fonte: Vulcano)



Figura 18 - Sistema Solar Térmico de Circulação Forçada (Fonte: Junkers)

Relativamente à concepção dos sistemas estes podem ser sistemas centralizados ou sistemas individuais. Em situações de reabilitação de edifícios a situação mais viável, em termos técnicos e económicos, é a adopção de sistemas individuais.

No caso concreto do edifício em estudo foi analisada a instalação de 24 m² de colectores solares térmicos, representando um investimento da ordem dos 600€/m².

A fracção solar associada a este sistema, ou seja, a percentagem de águas quentes sanitárias fornecida pelo sistema solar face ao total necessário, é de 62,5%.

Tratando-se de uma escola, só existem necessidades de água quente sanitária durante a semana. Também durante o período de Verão, época em que o sistema apresenta maior produtividade, a escola não tira partido do sistema uma vez que não há actividades escolares entre meados de Junho e Setembro. Tal facto leva a que o período de retorno desta medida seja claramente superior ao de sistemas aplicados em residências em que as necessidades de água quente sanitária são diárias.

Sistemas Solares Fotovoltaicos

Os painéis solares fotovoltaicos são uma outra forma de aproveitamento da energia solar, desta vez para conversão directa em energia eléctrica.

A grande mais valia destes painéis é o seu elevado potencial de integração arquitectónica em edifícios, podendo ser utilizados como materiais de construção, em detrimento de materiais convencionais. São disso exemplo as aplicações em coberturas, clarabóias, sistemas de sombreamento e aplicações como material de revestimento de fachadas.

Actualmente, no âmbito da medida 3.3.1 relativa à micro produção eléctrica definida no PNAEE, está em vigor o enquadramento da micro-geração ao abrigo do qual é possível viabilizar a instalação de sistemas fotovoltaicos para venda da electricidade à rede eléctrica nacional.

O sistema permite o acesso a uma tarifa bonificada e a venda de electricidade à rede, de acordo com os seguintes critérios:

- existência de um contrato de compra de electricidade em baixa tensão, devendo a unidade de micro produção ser integrada no local da instalação eléctrica de utilização;
- potência máxima de ligação de 3,68 kW (os produtores de electricidade não podem injectar na Rede Eléctrica de Serviço Público, no âmbito desta actividade, uma potência superior a 50 % da potência contratada para a instalação eléctrica de utilização);
- obrigatoriedade de instalação de 2m² de colectores solares térmicos.

Para obter mais informação sobre o regime da micro-geração deve-se registar no portal www.renovaveisnagora.pt.

Estão actualmente disponíveis no mercado três tipos de células, todas elas contendo silício na sua constituição base: monocristalino, policristalino e amorfo (ou filme fino). A maior diferença entre estas tecnologias está ao nível das eficiências, superiores nas tecnologias monocristalinas e maior flexibilidade ao nível dos materiais de silício amorfo (Figuras 22, 23 e 24).



Figura 19 Célula monocristalina

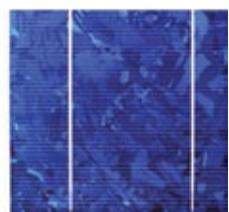


Figura 20 Célula multicristalina



Figura 21 Película filme-fino.

Em Portugal é possível encontrar algumas aplicações integradas de painéis fotovoltaicos em edifícios. É disso exemplo o edifício Solar XXI no campus do LNEG, onde a fachada do edifício é constituída por painéis fotovoltaicos policristalinos com uma capacidade instalada de 12kWp que produzem aproximadamente 10MWh/ano de energia eléctrica, utilizada no próprio edifício.

No Condomínio Jardins de São Bartolomeu em Lisboa foi instalada a maior instalação fotovoltaica ao nível de um condomínio em Portugal. Ao abrigo do enquadramento da micro-geração foram instalados 52kWp de painéis fotovoltaicos multi-cristalinos na cobertura dos edifícios.



Figura 22 Edifício Solar XXI (Fonte: LNEG)



Figura 23 Condomínio Jardins de São Bartolomeu

A análise para este edifício foi realizada considerando o auto-consumo.

A análise teve por base os seguintes pressupostos:

- Preço: 380 €/m² (3.800 € / kW pico instalado);
- Área de painéis: 25 m², pressupõe a instalação de 3.68kW;
- Orientação: Sul.

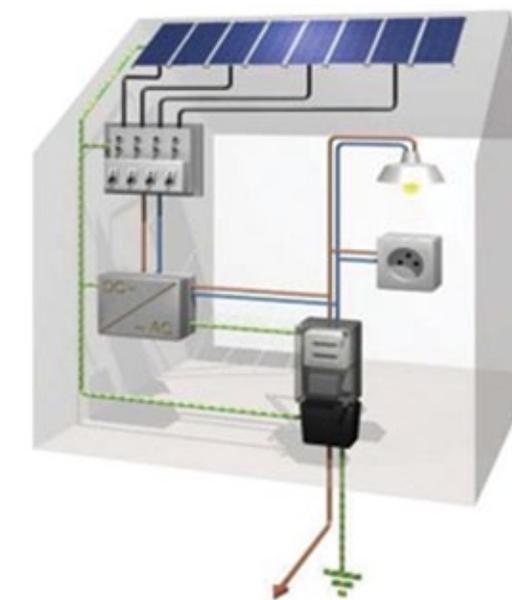


Figura 24 Esquema da constituição de um sistema fotovoltaico (Fonte: IEA-PVPS-Tash 7)

Iluminação

Em edifícios escolares é particularmente importante garantir os níveis adequados de iluminação. Para tal é essencial conciliar as necessidades do espaço e os respectivos consumos energéticos, adoptando estratégias de iluminação eficiente. A base da aplicação deste conceito está na redução das necessidades de iluminação artificial e na redução do consumo energético associado às necessidades de iluminação indispensáveis.

O sistema de *daylight control* permite, através da instalação de sensores de controlo de luz natural, ajustar os níveis de iluminação artificial das salas de aula em função da disponibilidade de iluminação natural.

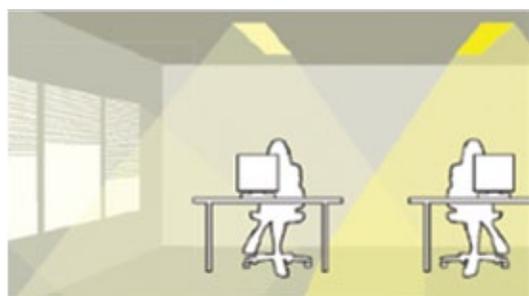


Figura 25 Efeito regulador de fluxo de acordo com a disponibilidade de luz natural.

Tabela 13 Custos dos equipamento *daylight control*

| Intervenção | €/unidade | €/24 unidades |
|--------------------------------------|-----------|---------------|
| Dispositivos <i>daylight control</i> | 125 | 3000 |

Foi igualmente estudada a substituição dos actuais balastros electromagnéticos por balastros electrónicos em todas as luminárias. Ao contrário dos balastros electromagnéticos, os electrónicos permitem melhorar o rendimento das lâmpadas ao converterem a frequência *standard* de

50 Hz em alta frequência, geralmente em 25 kHz a 40 kHz.

O funcionamento destas lâmpadas a elevadas frequências produz a mesma quantidade de luz, com um consumo entre 12 a 25 % mais baixo.

A utilização de balastros electrónicos apresenta, ainda, várias vantagens ao nível da qualidade de iluminação:

- ausência de cintilação durante o funcionamento, devido à alta frequência;
- desliga automaticamente as lâmpadas em caso de anomalia;
- baixa temperatura de funcionamento;
- fluxo constante independente da tensão de alimentação;
- vida útil da lâmpada aumenta cerca de 50%.

Tabela 14 Custos de substituição dos balastros electrónicos

| Intervenção | €/unidade | Instalação em todas as luminárias € |
|--------------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| Instalação de balastros electrónicos | 15 | 2100 |

Sistemas de Aquecimento

Como referido anteriormente, foi simulada a existência de um sistema de aquecimento central a partir de uma caldeira convencional. Como oportunidade de intervenção identifica-se a substituição da caldeira convencional a gás natural por equipamentos mais eficientes, nomeadamente caldeiras de condensação ou com mais valias ambientais, caldeiras de biomassa. Foi igualmente estudada a possibilidade de utilizar bombas de calor.

Uma caldeira de condensação incorpora um permutador de calor desenvolvido propositadamente para trabalhar com os condensados dos gases de combustão, resultantes do vapor de água libertado no processo de queima do combustível. No caso concreto da queima de um hidrocarboneto, a energia libertada por condensação corresponde a cerca de 11% da energia total contida no volume de gás queimado. A caldeira permite fazer o aproveitamento desta energia para efeitos de aquecimento.

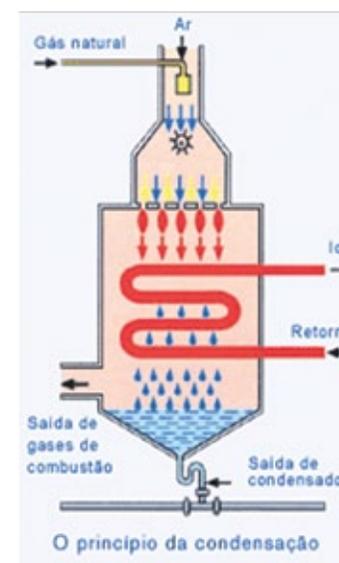


Figura 26 Princípio de funcionamento de uma caldeira de condensação (Fonte - Junkers)

As caldeiras de biomassa têm o mesmo princípio de funcionamento das convencionais utilizando como combustível resíduos sólidos: materiais lenhosos, pellets, etc. com elevado poder calorífico.

As bombas de calor funcionam sob o mesmo princípio dos frigoríficos, utilizando a energia térmica ambiente como fonte de calor/frio. A bomba extrai ao ar ambiente a energia necessária ao sobreaquecimento de um fluido refrigerante que circula no sistema de distribuição de calor que utiliza os ventilo-conectores como unidades terminais.

A bomba de calor geotérmica utiliza como fonte de calor o solo, que mantém a sua temperatura estável ao longo do ano, aproximadamente 15°C. O custo da bomba de calor geotérmica apresentado na Tabela 15, contempla a bomba de calor, depósitos de inércia e permutadores de calor mas exclui trabalhos de escavação e preparação de terrenos (cujo custo pode ser muito relevante) (Tabela 15).

Tabela 15 Investimentos ao nível do sistema de aquecimento

| Equipamentos | Custo do equipamento de geração de calor ¹ (€) | Custo das unidades terminais | |
|---|---|------------------------------|-----------------------|
| | | € | Descrição |
| Sistema de referência (Caldeira convencional) | 5000 | 18.000 | Radiadores conectores |
| Caldeira de biomassa | 33.500 | 18.000 | Radiadores conectores |
| Caldeira de condensação | 8.600 | 18.000 | Radiadores conectores |
| Bomba de calor convencional | 25.000 | 35.500 | Ventilo - conectores |
| Bomba de calor geotérmica ² | 42.000 | 35.500 | Ventilo - conectores |

¹ Consulta de mercado

² O custo da bomba de calor geotérmica contempla a bomba de calor, depósitos de inércia e permutadores de calor mas exclui trabalhos de escavação e preparação de terrenos (cujo o custo pode ser muito relevante)

5.4 Análise custo - benefício

Todas as intervenções analisadas foram reflectidas do ponto de vista energético, económico e ambiental, permitindo identificar aquelas que apresentam os melhores períodos de retorno.

Nas medidas estudadas para a melhoria da envolvente, identifica-se claramente uma efectiva melhoria do comportamento do edifício pela aplicação de isolamento térmico e reabilitação dos envidraçados. Esta melhoria reflecte-se na diminuição das necessidades de aquecimento ambiente, que podem chegar a -45%, considerando um isolamento de 100mm. No entanto, esta redução nas necessidades de aquecimento representa apenas 7% no global do consumo de energia primária do edifício.

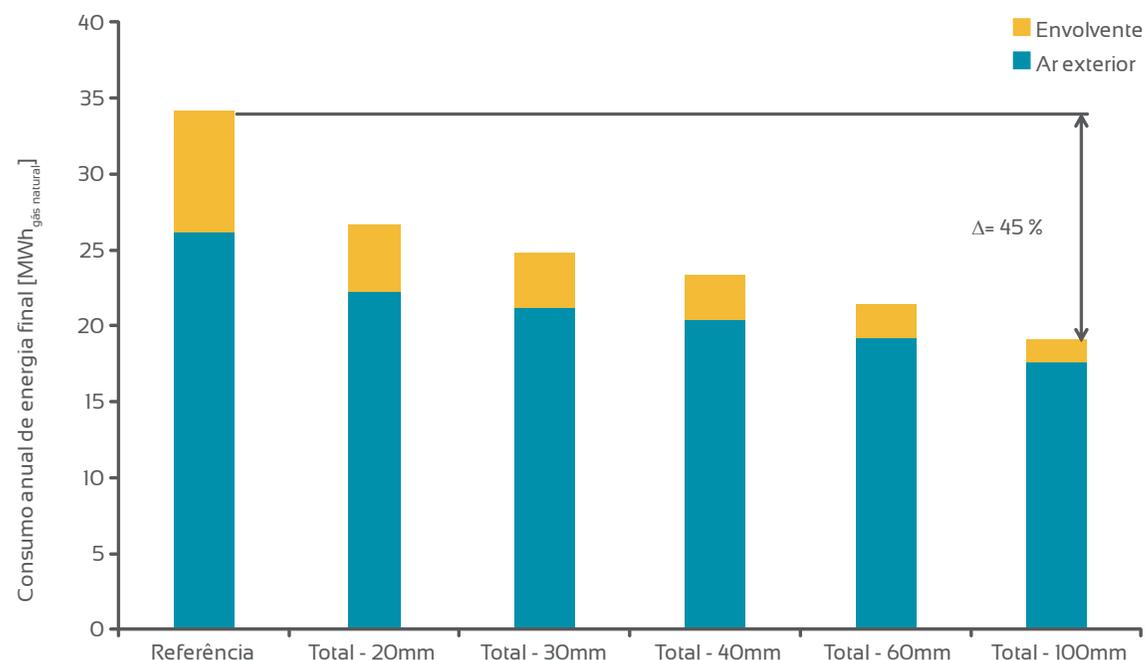


Gráfico 06 Simulação da redução das necessidades energéticas para aquecimento após as intervenções ao nível da envolvente do edifício

Na análise realizada do ponto de vista da intervenção na envolvente é possível identificar os períodos de retorno associados a cada nível de isolamento (Gráfico 07).

Os elevados períodos de retorno associados à intervenção na envolvente são justificados pelo baixo factor de utilização do edifício, 5 dias/semana, 12 horas/dia, pelos elevados ganhos internos decorrentes da ocupação e pela maior parte das necessidades de aquecimento serem provenientes da ventilação de ar exterior à temperatura ambiente. Esta é uma situação recorrente em edifícios de serviços em que as cargas geradas internamente são tao relevantes quanto as cargas externas, sendo necessário criar condições de conforto imediatas através de equipamentos, não tirando assim partido da inércia térmica de que se está a dotar o edifício.

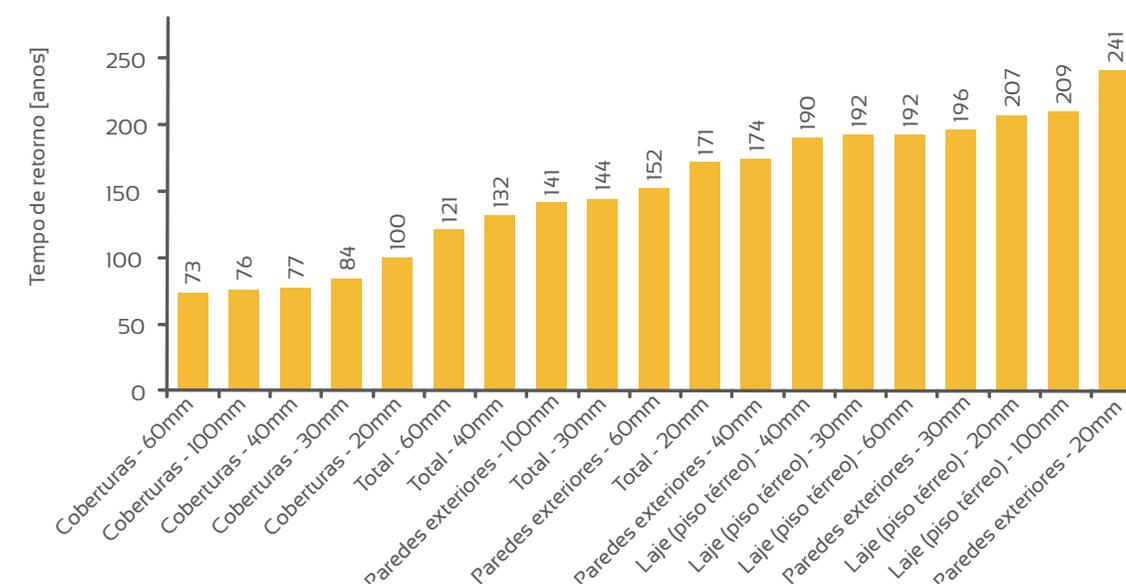


Gráfico 07 Períodos de retorno associados às intervenções ao nível da envolvente do edifício

Os elevados períodos de retorno associados às intervenções na envolvente do edifício são equilibradas pelas oportunidades de intervenção que surgem ao nível dos equipamentos (Gráfico 08).

O período de retorno associado à instalação de painéis fotovoltaicos não reflecte a possível venda da electricidade gerada à rede eléctrica nacional, num enquadramento de incentivo à adopção destes sistemas. A contabilização desses proveitos teria que ter em conta o esquema de injeção na rede em vigor. A situação apresentada é para um sistema ligado à rede, ou seja, sem o investimento em baterias para armazenamento da energia, de compra e venda de electricidade ao preço de mercado.

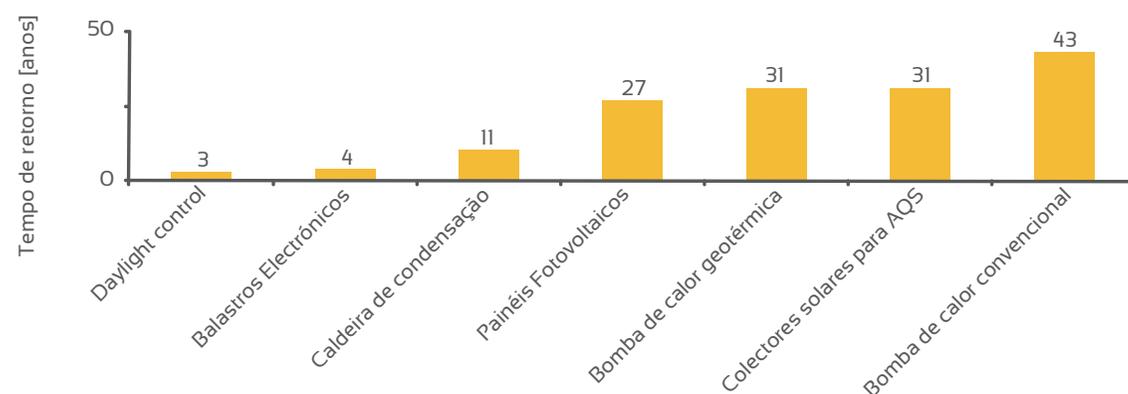


Gráfico 08 Períodos de retorno associados às intervenções ao nível dos equipamentos

O Gráfico 09 apresenta a perspectiva global de todas as intervenções, identificando os períodos de retorno económico a elas associados.

O Gráfico 10 apresenta, por seu lado, o período de retorno ambiental das intervenções, onde é evidente a diferença entre os cálculos.

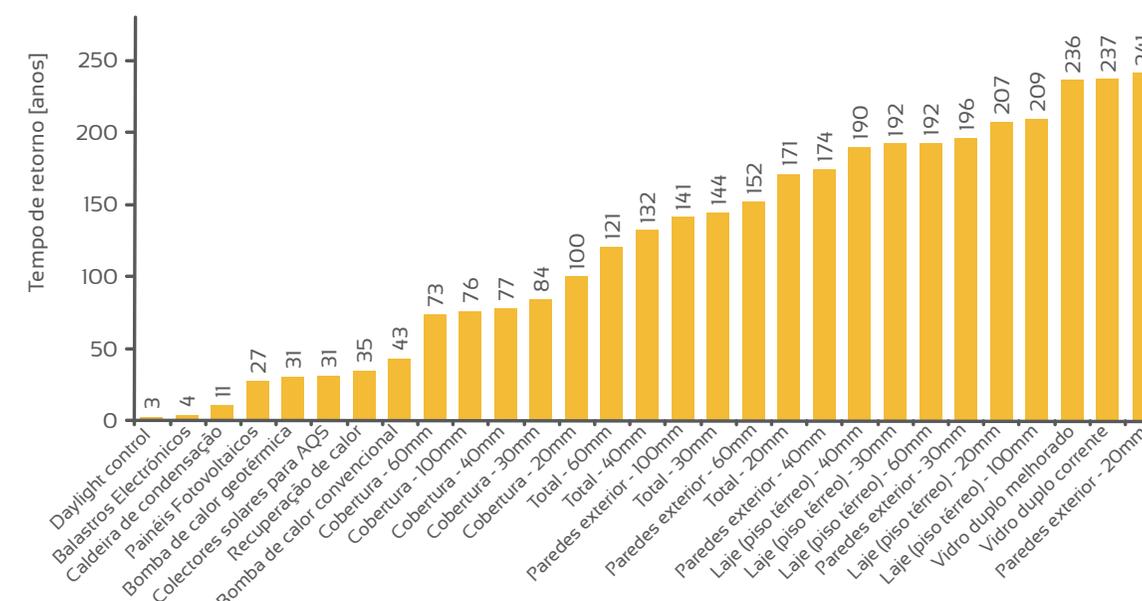


Gráfico 09 Períodos de retorno económico associados a todas as intervenções

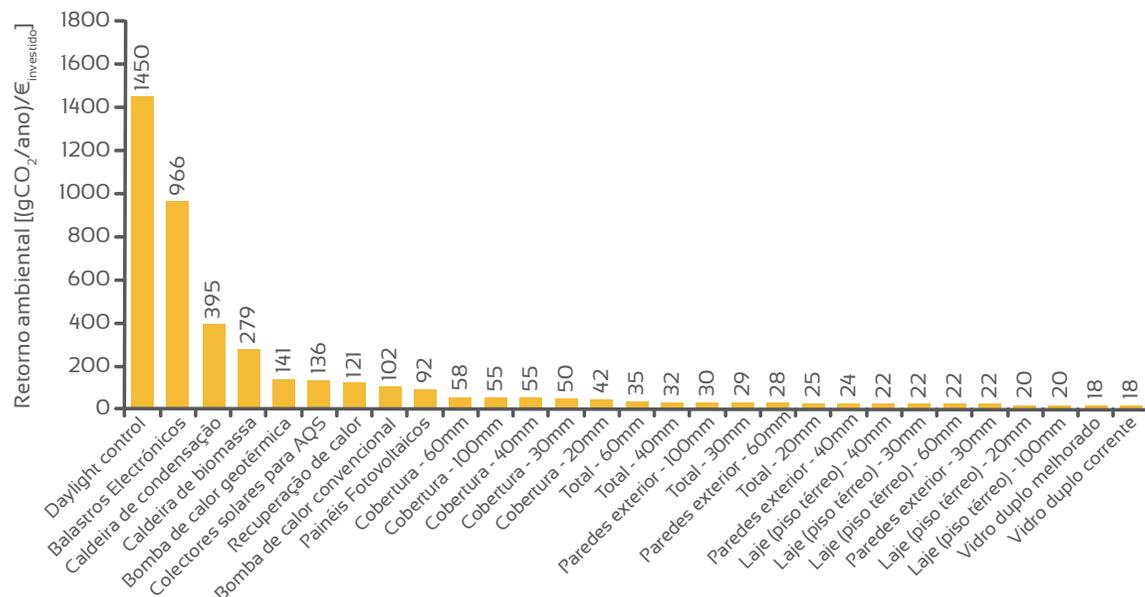


Gráfico 10 Períodos de retorno ambiental associados a todas as intervenções

Se for analisada a intervenção global ao nível das intervenções que podem ser implementadas em simultâneo e que apresentam viabilidade económica, ou seja, isolamento térmico aplicado na cobertura com uma espessura de 60 mm, instalação de um sistema de *daylight control* em todas as salas de aula, substituição dos balastros electromagnéticos por balastros electrónicos, instalação de um sistema solar térmico para produção de águas quentes sanitárias, sistema

solar fotovoltaico para produção de electricidade em regime de auto-consumo e instalação de uma caldeira de condensação para o sistema de climatização, o período de retorno simples é de 17 anos. Este cálculo tem por base uma redução de 34% no consumo de energia primária e reflecte-se numa redução de 60% da factura energética da escola (Tabela 16).

Tabela 16 Síntese das intervenções que podem ocorrer em paralelo

| Intervenção | Custo estimado [€] | Economias anuais | | Tempo de retorno |
|---|--------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| | | € | gCO ₂ /€ investido | |
| Intervenção "Global": Cobertura 60 mm + Daylight control + Balastros electrónicos + Colector solar térmico (24 m ²) + Fotovoltaico (25 m ²) + Caldeira de condensação | 52.500 | 3.083 | 3.100 | 17 |

A maior redução verifica-se ao nível dos sistemas de iluminação, resultado do sistema de *daylight control* e da substituição dos balastros existentes por balastros electromagnéticos. A instalação de colectores solares térmicos permite, igualmente, uma considerável redução da factura energética (Gráfico II).

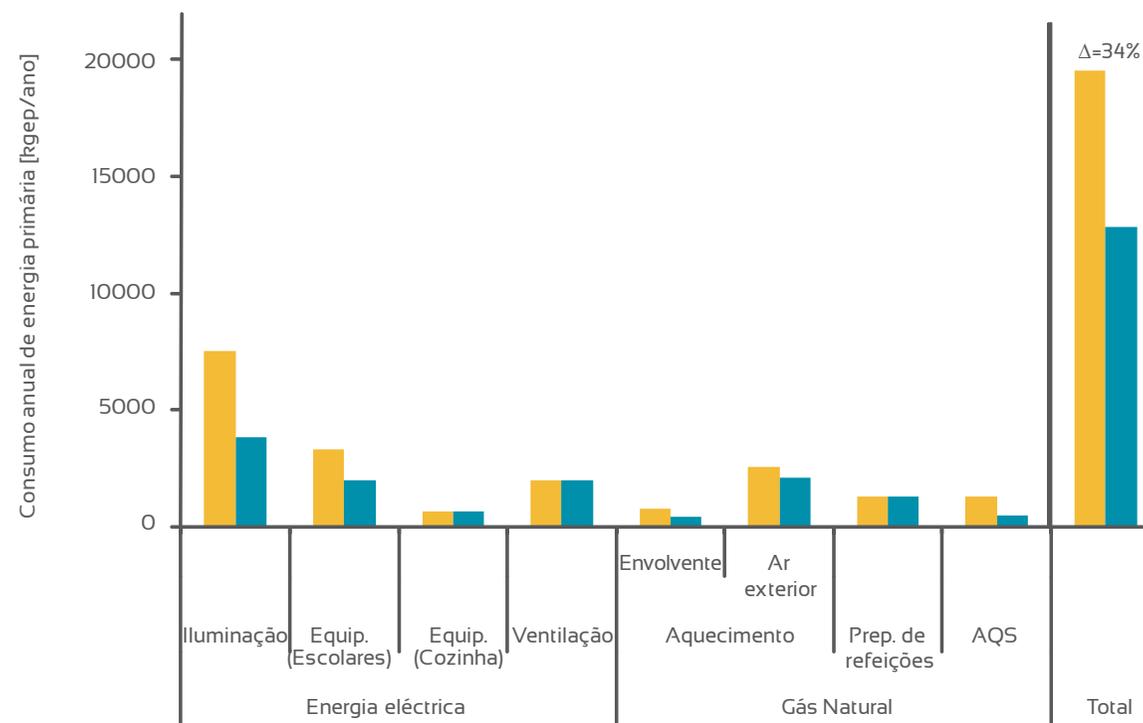


Gráfico II Comparação da matriz energética (energia primária) do edifício actual e após intervenções

Síntese e Conclusões

O presente estudo teve como objectivo apresentar, para um edifício escolar edificado nos anos 80, tipologia P3, as oportunidades de intervenção ao nível da melhoria do seu desempenho energético, através de uma análise do ponto de vista energético, económico e ambiental.

As oportunidades de intervenção foram identificadas a três níveis:

- ao nível da envolvente do edifício (isolamento térmico e optimização dos vãos envidraçados);
- ao nível da instalação de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis (painéis solares térmicos e fotovoltaicos);
- ao nível dos sistemas e equipamentos energéticos instalados (iluminação e climatização).

A implementação integral das oportunidades de intervenção estudadas e passíveis de implementação simultânea conduziria a uma redução superior a 30% nos consumos de energia primária e emissões de CO₂ associadas, e de 60% na factura energética anual do edifício (6,7 tep/ano, 12,1 tonCO₂/ano e 3.083 €/ano, respectivamente).

Esta intervenção ocorreria essencialmente ao nível dos equipamentos, e implicaria um investimento total de cerca de 52.500 €, que se pode desagregar do seguinte modo:

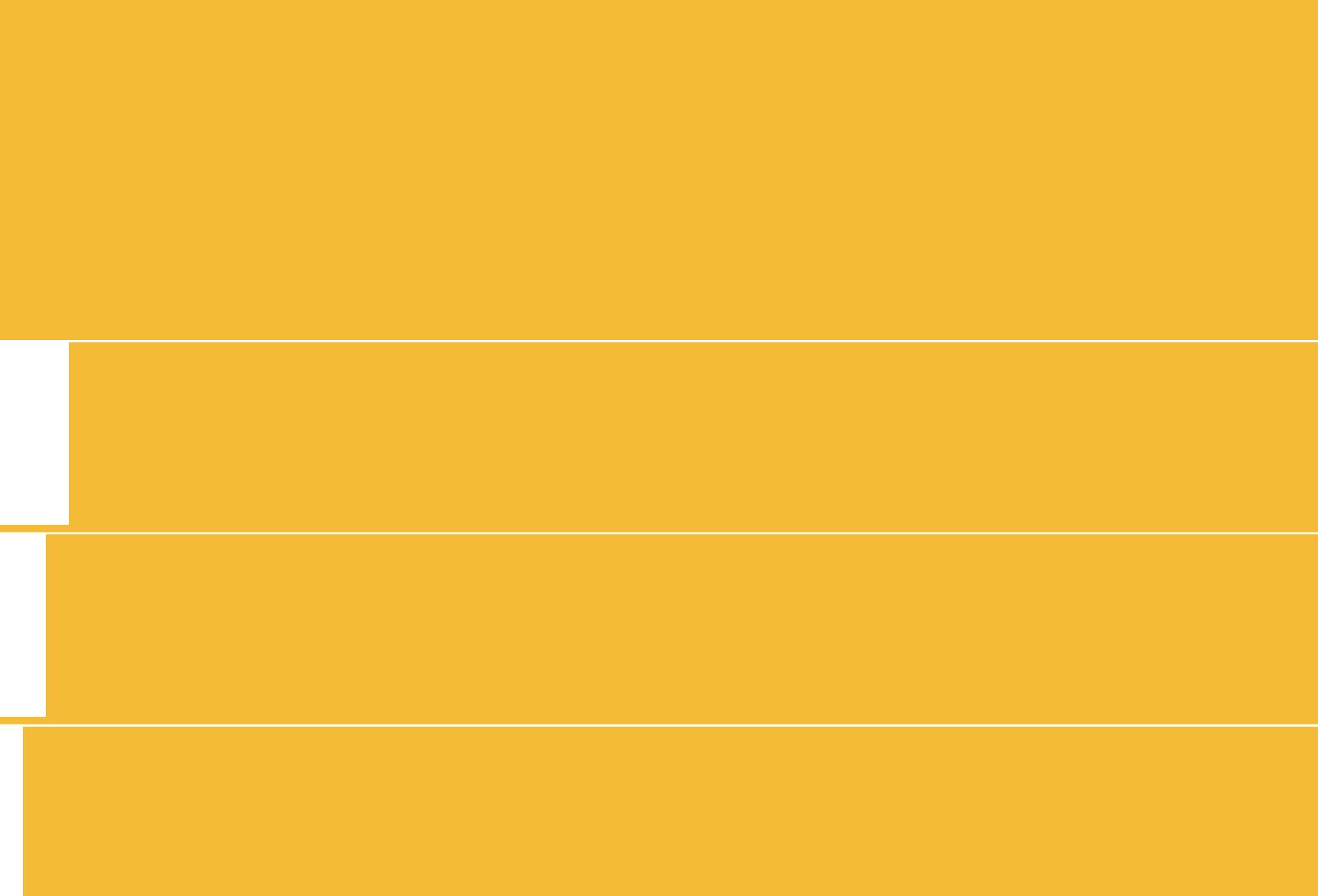
- edifício (isolamento térmico das coberturas): 15.400 € (tempo de retorno global = 73 anos);

- instalação de tecnologias de aproveitamento de energias renováveis: 29.000€ (tempo de retorno global = 25 anos);
- sistemas de iluminação: 5.100€ (tempo de retorno global = 3 anos);
- sistemas de climatização: 4.000 € (tempo de retorno global = 11 anos).

Apesar das mais-valias ao nível da redução dos consumos energéticos e aumento significativo dos níveis de conforto no interior do edifício, as medidas de reabilitação energética da envolvente representam um investimento elevado para os efectivos períodos de retorno associados. Tal deve-se essencialmente aos níveis e perfis de ocupação desta tipologia de edifícios, em que as cargas geradas internamente são tão relevantes quanto as cargas externas, sendo necessário criar condições de conforto imediatas através de equipamentos, não tirando assim partido da inércia térmica de que se está a dotar o edifício.

Ao nível dos equipamentos, são as medidas associadas aos sistemas de iluminação que assumem os melhores investimentos, enquanto os restantes equipamentos justificam os elevados períodos de retorno pelo baixo factor de utilização do edifício, 5 dias/semana, 12 horas/dia, menos de 200 dias por ano.

De realçar, no entanto, a importância das condições de conforto e salubridade nestes edifícios, que justifica a consideração destas intervenções na requalificação do parque escolar.



Rua dos Fanqueiros, 18 - 1 1100-232 Lisboa
Tel.: 218 847 010 - Fax: 218 847 029
e-mail: info@lisboaenova.org

www.lisboaenova.org

Com o apoio do programa
EEA Grants