



**PLANO DE AVALIAÇÃO ENERGÉTICA NUM EDIFÍCIO:
APLICAÇÃO A UMA ESCOLA EM PORTUGAL**

JOSÉ ABEL ANDRADE

CIDEM – ISEP, Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia do Porto
R. António Bernardino de Almeida 431, 4200-072 Porto, Portugal
Tel. 351-228340500. Fax: 351-228321159
e-mail. jandrade@dem.isep.ipp.pt

HELENA ISABEL SAMPAIO

CIDEM – ISEP, Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia do Porto
R. António Bernardino de Almeida 431, 4200-072 Porto, Portugal
Tel. 351-228340500. Fax: 351-228321159

Resumo. *O conhecimento de consumos energéticos, da sua distribuição e dos seus usos, é fundamental para o estabelecimento de planos de racionalização de energia com a indicação de metas a atingir num período temporal a médio prazo inserido num programa mais alargado de desenvolvimento sustentável. Em particular, aquela avaliação deve ser observada durante as condições de funcionamento para que a base de dados a constituir seja tão real quanto possível. O edifício em referência é uma Escola Politécnica. Neste sentido, os alunos são motivados para participar e tem oportunidade de um contacto directo com o desenvolvimento do projecto pretendendo-se criar uma sensibilização para os problemas energéticos e ambientais aos futuros responsáveis por estas áreas nas suas vidas profissionais. Neste contexto a Escola funciona como uma instalação laboratorial para questões de energia e de ambiente. O texto apresenta o conjunto de medidas aplicadas a uma escola sediada em Portugal de modo a ser possível uma quantificação de energia eléctrica e de energia térmica em diferentes sectores da Escola e para diferentes usos finais. Neste último caso é dedicado um especial interesse nas instalações de climatização (ventilação, aquecimento, arrefecimento) destinadas à obtenção das condições de bem-estar dos utentes.*

Palavras chaves: *Energia eléctrica, Energia térmica, Monitorização*

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia nos edifícios é incluído no sector de serviços quando da análise da distribuição de consumos energéticos de um país pelo que é um sector importante a considerar nas tomadas de posição presentes visando a redução do consumo de energia, da melhoria do bem-estar e da qualidade total que os vindouros poderão receber de resoluções actuais.

Em Portugal o sector de serviços é responsável pelo consumo de 2000 ktep/ano de energia o que representa cerca de 20 % do consumo total de energia.

Este tipo de informação não justifica, por si só, a montagem de um sistema de recolha e processamento de dados durante o período de vida útil do edifício. Podemos então, recorrendo à monitorização dos parâmetros tidos como relevantes ao longo de um período conveniente, determinar, por exemplo, curvas de carga de consumos eléctricos, discriminar os consumos de água e gás por zona individual – monitorização energética –, ou avaliar índices de conforto ambiental – monitorização de conforto –, ou ainda analisar a relação conforto vs. consumo energético – monitorização energético-ambiental. Esta última situação justifica-se sempre que o objectivo é otimizar o funcionamento do edifício como um todo, dado que os dois aspectos operam de forma interligada.

A monitorização pode, pela sua natureza mais experimental, operar como uma fonte de informação muito detalhada com enorme utilidade para os utilizadores dos edifícios, para os administradores, para os projectistas, para os promotores e para as instituições encarregues do planeamento de grande escala das estruturas urbanísticas e mesmo, no limite, de opções estratégicas ao nível da nação.

Pode, também, apetrechar bases de dados com o comportamento real de materiais, sistemas, estratégias e estruturas construtivas. Os dados assim reunidos constituem uma poderosa ferramenta de auxílio ao planeamento urbanístico, à investigação, à gestão e ao projecto futuros.

As diferentes fontes de energia usadas no edifício, a sua transformação, a sua distribuição e os seus usos finais são analisados ao nível de projecto de modo a ser planeado a localização e o número de pontos de medida mais conveniente para a realização do projecto proposto. Algumas variáveis são avaliadas em contínuo e outras serão de avaliação pontual.

Em termos energéticos é avaliado o consumo de energia térmica para aquecimento das diferentes zonas do edifício assim como de algumas unidades terminais que servem locais específicos. O balanço energético de alguns equipamentos térmicos - caldeira, permutadores de calor, também é avaliado.

A desagregação de consumos eléctricos por diferentes zonas do edifício constitui um dos objectivos deste projecto.

As condições ambientais - temperatura, humidade e qualidade do ar, são medidas nalgumas zonas para avaliar as condições de bem estar dos utentes, como resultado do uso de energia

O trabalho presente descreve um Plano de Monitorização Energética de uma Escola em que se definam os objectivos e os meios para avaliar as condições de desempenho dos edifícios e dos sistemas energéticos nele integrados e as suas consequências em termos de conforto e eficiência energética.

2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício objecto do estudo é uma Escola situada na cidade de Vila do Conde a norte de Portugal e constituída por cinco edifícios cuja vista geral é indicada na Fig. (1).



Figura 1 – Vista geral do Campus. Fonte (Arq. Oliveira Dias)

Os edifícios E e F constituem dois corpos sequenciais e localizados na zona Sul do Campus com um eixo Nascente – Poente. Aqueles têm como função principal a de Apoio Social (cantina e bares) e a Associação de Estudantes, a Direcção, a Administração e a Biblioteca.

O edifício B, localizado na zona nascente do campus tem o eixo de desenvolvimento na direcção Norte – Sul e é destinado fundamentalmente ao ensino teórico. Em cada um dos seus três pisos encontram-se 11 salas de aulas.

O edifício C articula-se com o anterior formando o seu conjunto um L. Esta zona é destinada a gabinetes de docentes e pequenas salas de reunião. Em cada um dos três pisos estão localizados 18 gabinetes de docentes e 4 salas de reunião.

O terceiro edifício referenciado por D tem como função principal o ensino de aulas práticas sendo constituído por um conjunto de Laboratórios. No primeiro piso estão localizados 7 laboratórios, 6 salas de estudo e 4 salas de informática. No segundo piso encontram-se 8 laboratórios e 1 sala de desenho.

Por último, na parte Norte do complexo, encontra-se o edifício A que tem como principal equipamento o Auditório Central com as funções inerentes a um anfiteatro de uso geral.

3. DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES ENERGÉTICAS

As instalações energéticas existentes no edifício e que constituem equipamentos a analisar no contexto deste trabalho são os sistemas de água quente e de água fria, os sistemas de controlo ambiental e a instalação eléctrica cujas descrições são indicadas de seguida.

3.1. Sistema de água quente

A água quente é utilizada no edifício para águas sanitárias e para os sistemas de controlo ambiental.

A produção de água quente sanitária é realizada através da queima de gás em caldeira localizada no edifício F.

A produção de água quente, independente da anterior, é centralizada na casa das máquinas situada na cave do edifício B e obtida por duas caldeiras a gás. A distribuição aos diferentes edifícios é realizada por rede de fluidos independentes que tem a sua origem na casa das máquinas. Os edifícios B e C são alimentados por dois ramais, cada. Os edifícios E e F são alimentados no seu conjunto por dois ramais, uma para a ala Norte e outro para a ala Sul. O edifício D, por ser o de menores dimensões, apenas é alimentado por um circuito.

3.2. Sistema de água fria

A produção de água fria é realizada em dois chillers localizados nas coberturas dos edifícios D e F e servem as unidades de controlo ambiental, ventilo-convectores, de cada um dos edifícios respectivos.

3.3. Instalação eléctrica

A central eléctrica é localizada na cave do edifício B. A partir daquela existem vários circuitos que alimentam quadros eléctricos em cada piso dos edifícios, com conseqüente repartição de acordo com as características específicas de cada um. No conjunto de edifícios existem cerca de 100 quadros eléctricos.

3.4. Sistemas de condicionamento de ar

O controlo ambiental na Escola é obtido por diferentes tipos de equipamentos de acordo com as funções de cada uma das zonas. A maioria dos espaços como os corredores e salas de docentes são equipadas com radiadores. As salas de informática são climatizadas por unidades ventilo convectores (ventilação, aquecimento e arrefecimento), enquanto os laboratórios são equipados por unidades de tratamento de ar (ventilação e aquecimento). A Tabela (1) lista os equipamentos de condicionamento de ar que se encontram distribuídos pelo edifício assim como a sua ligação ao sistema de água quente.

Tabela 1. Lista dos equipamentos de condicionamento de ar

Linha	Ramal	Edifício	Unidade	Quantidade
BC (E+N)	N	C	RADIADORES	15
			UNIDADE TRATAMENTO AR	3
BC (S+O)	E	B	RADIADORES	15
	S	C	RADIADORES	15
	O	B	RADIADORES	15
D	D	D	UNIDADE TRATAMENTO AR	14
			VENTILO-CONVECTORES	8
			RADIADORES	20
EF	N	EF	RADIADORES	30
	S	EF	VENTILO-CONVECTORES	38
			RADIADORES	30

4. METODOLOGIA DA MONITORIZAÇÃO

Os objectivos normalmente associados às monitorizações energéticas prendem-se com a quantificação de consumos e avaliação de eficiências ou rendimentos, associados a sistemas ou espaços.

O plano de monitorização implementado visa a obtenção de dados relativos ao desempenho dos sistemas energéticos utilizados no edifício, bem como do desempenho dos serviços de energia agregados.

As operações de monitorização a executar serão de dois tipos: contínua – recolha de dados em contínuo durante todo o período de monitorização e esporádica – recolha de dados pontual com o objectivo de avaliar um parâmetro fixo durante todo o período de monitorização.

Os pontos onde as medições tem lugar são definidos tendo em atenção as características do edifício, do espaço considerado ou do sistema sob observação.

As monitorizações a edifícios devem ser efectuadas por um período nunca inferior a dois anos. Dado que no primeiro ano as condições no interior dos edifícios não se encontram numa fase estacionária, i.e., as paredes libertam água, os ocupantes não possuem ainda hábitos definidos de ocupação, os móveis libertam VOC's, etc., os dados recolhidos entretanto não se podem considerar como representativos da normal operação dos mesmos.

Uma vez definidos os parâmetros e pontos a monitorizar resta estabelecer a frequência de recolha dos dados. Assim, em função dos objectivos propostos para a monitorização, alguns parâmetros justificarão um intervalo entre recolhas menor que outros. Normalmente uma base de recolha horária é um bom ponto de partida para a análise de consumos. Contudo, os objectivos ou a natureza dos espaços pode justificar intervalos mais ou menos prolongados.

Para a avaliação quantitativa dos parâmetros, existe no mercado uma variada gama de equipamentos. A selecção do equipamento é condicionada por diversos factores entre os quais destacamos o processo de transmissão e recolha de dados; a compatibilidade entre os vários equipamentos; a fase de desenvolvimento da obra; o custo da instalação; e o grau de precisão pretendido na avaliação dos parâmetros.

O equipamento de aquisição e transmissão de dados condicionará todo o processo de trabalho de campo, podendo ainda afectar a forma como os dados são processados, pelo que é justificada uma atenção particular à sua selecção.

Na Tabela (2) apresenta-se um resumo dos pontos alvo da monitorização e dos parâmetros a monitorizar.

Tabela 2. Pontos alvo e parâmetros a monitorizar

Parâmetros	Processo		Localização		
	Contínuo	Esporádico	Casa	Equipam.	Exterior
Parâmetros Funcionais					
1.Micro clima Envolvente	x				x
2.Regime de ocupação		x			
Sistemas Energéticos					
1.Sistema a gás de aquecimento central					
Temperatura da água de alimentação	x		x		
Temperatura da água de retorno	x		x		
Caudal de água para aquecimento central	x		x		
Consumo eléctrico de bombagem	x		x		
Consumo de gás pela caldeira	x		x		
3.Sistemas de condicionamento de ar					
Temperatura da água à entrada				x	
Temperatura da água à saída				x	
Caudal de água				x	
Temperatura do ar à saída				x	
Consumo eléctrico de ventilação				x	
Servicos de energia					
1.Parâmetros de Conforto Ambiental					
Temperatura do ar	x	x			
Humidade relativa do ar	x	x			
2.Consumos para conforto					
Temperatura do ar à entrada do local	x			x	
3.Consumos eléctricos					
Desagregação de consumos	x			x	

4.1. Sistema de água quente

No sistema a gás de produção de água quente (AC e AQS) o objectivo é conhecer o consumo global de energia térmica. As temperaturas de fornecimento e de retorno/alimentação da água e respectivos caudais em circulação são os parâmetros relevantes.

Como já foi referido, além dos sistemas individuais poder-se-á conhecer, por meio de um balanço global à instalação, o desempenho da mesma. Como entradas no volume de controle tem-se o gás, a água da rede/retorno e a electricidade de bombagem. Na saída encontra-se a água quente quer para aquecimento central quer para os consumos de água quente sanitária.

Os pontos de medida relativos à quantificação da produção de energia térmica (AC) estão situados na casa das máquinas e os pontos referentes aos consumos individuais dos locais encontram-se nos ramais de distribuição respectivos de acordo com a Fig. (2).

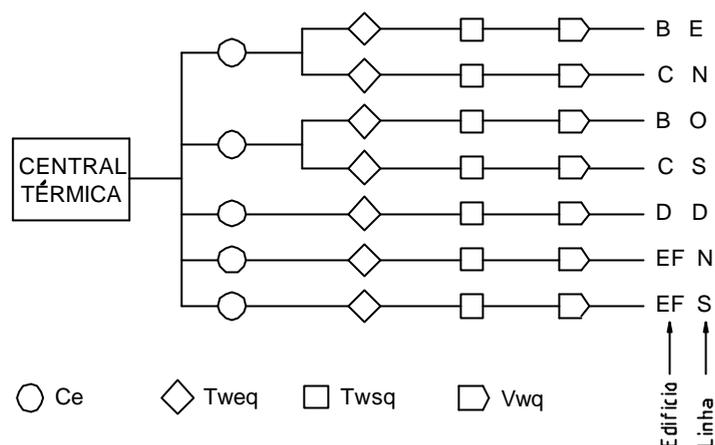


Figura 2 – Parâmetros monitorizados no sistema de distribuição de água quente. (Ce – consumo eléctrico; Tweq – temperatura na entrada; Twsq – temperatura na saída; Vwq – caudal)

4.2. Sistema de água fria

Os pontos referentes ao sistema de produção de água fria encontram-se junto de cada uma das máquinas respectivas.

4.3. Sistemas de condicionamento de ar

Nestes sistemas os parâmetros com interesse dizem respeito somente aos fluxos que atravessam a fronteira do volume de controle. Os fluxos em causa respeitam a fluidos dos quais se destacam o ar, a água e outros fluidos térmicos. A capacidade térmica associada aos fluidos que participam nos mecanismos de transferência de calor inerentes ao processo de climatização obrigam ao conhecimento das suas temperaturas de entrada e saída, bem como dos caudais em circulação, para que possamos caracterizar correctamente os referidos mecanismos físicos.

Os pontos onde se efectuam as medições estão, naturalmente, localizados nas tomadas de admissão do fluido e de expulsão do mesmo do volume de controle. Como já foi discutido, o caudal, embora podendo ser o mesmo em qualquer dessas tomadas, deve ser medido naquela em que o fluido sofre menor variação das propriedades mássicas ou volúmicas.

A Tabela (3) lista os pontos para a monitorização ao sistema de produção de água quente para aquecimento assim como aos sistemas de condicionamento de ar.

Tabela 3. Pontos de monitorização ao sistema de água quente e sistemas de condicionamento de ar

Linha	Ramal	Edifício	Unidade	Tweq	Twsq	Vwq	Dp	Tas	Ce
BC (E+N)	N	C		X	X	X			X
			CTVC 4.1	X	X	X	X	X	X
			CTVC 4.2	X	X	X	X	X	X
	E	B	CTVC 4.3	X	X	X	X	X	
BC (S+O)	S	C		X	X	X			
	O	B		X	X	X			
D	D	D		X	X	X		X	
EF	N	EF		X	X	X		X	
	S	EF		X	X	X		X	

4.4. Consumos eléctricos

A finalidade da contabilização dos consumos eléctricos é saber quanto é gasto e onde. A sua desagregação pelas diferentes utilizações torna-se inviável se atendermos que no total do edifício existem 100 quadros eléctricos e cada um deles apresenta vários circuitos.

Em termos de desagregação de consumos optou-se por avaliar os consumos eléctricos nos diferentes pisos (1º, 2º e 3º) dos edifícios B, C, D, E e F. Em relação a serviços de energia eléctrica é possível contabilizar a energia para os equipamentos de ventilação e de condicionamento de ar uma vez que estes são alimentados por quadros eléctricos próprios.

A concretização destes objectivos implica a colocação de contadores eléctricos nos quadros eléctricos assim repartidos: 20 contadores para a desagregação de consumos por pisos/edifícios e 22 contadores para o serviço de ventilação e de condicionamento de ar cuja distribuição é indicada na Tab. (4) e na Tab. (5).

Tabela 4. Contadores para desagregação de consumos eléctricos por edifício e piso

EDIFÍCIO	PISO	QUADRO ELÉCTRICO
B	1	B1
	2	B2
	3	B3
C	1	C1
	2	C2
	3	C3
D	1	D1.1 + D1.2 + D1.3
	2	D2.1 + D2.2
	3	
E	1	E1
	2	E2
	3	E3
F	1	F1.1 + F1.2
	2	F2.1 + F2.2
	3	F3.1 + F3.2
CENTRAL TÉRMICA		CT

Tabela 5. Contadores para desagregação de consumos eléctricos para serviço de climatização

EDIFÍCIO	PISO	QUADRO ELÉCTRICO
B	1	
	2	
	3	
C	1	CV1.1
	2	CV2.1
	3	CV3.1
D	1	DV1.3 DV1.4 DV1.5 DV1.6 DV1.7 DV1.8 DV1.9
	2	DAC2.1 DV2.2 DV2.3 DV2.4 DV2.5 DV2.6 DV2.7 DV2.8
	3	
E	1	
	2	
	3	EAC3.1
F	1	FV1.2
	2	
	3	

4.5. Conforto ambiental

Com os parâmetros de conforto térmico pretende-se avaliar se a temperatura e a humidade estão dentro dos índices de conforto.

4.6. Importância dos ocupantes

Há ainda que fazer menção à importância dos ocupantes em todo o processo de monitorização. Como já foi referido, os ocupantes devem ser incomodados ao mínimo durante o período de recolha de dados. Contudo, em casos extremos, podem ter um papel activo na monitorização.

5. RESULTADOS

O primeiro edifício a entrar em funcionamento foi o edifício D em 30 de Outubro do ano 2000 seguidos dos restantes a partir de Junho de 2001. Em qualquer um destes o regime de ocupação sofreu alterações constantes inerentes ao arranque de funcionamento.

Do plano de monitorização apresentado indicam-se alguns dados referentes a consumos eléctricos. As Figuras (3) e (4) representam os consumos para quatro meses no edifício D

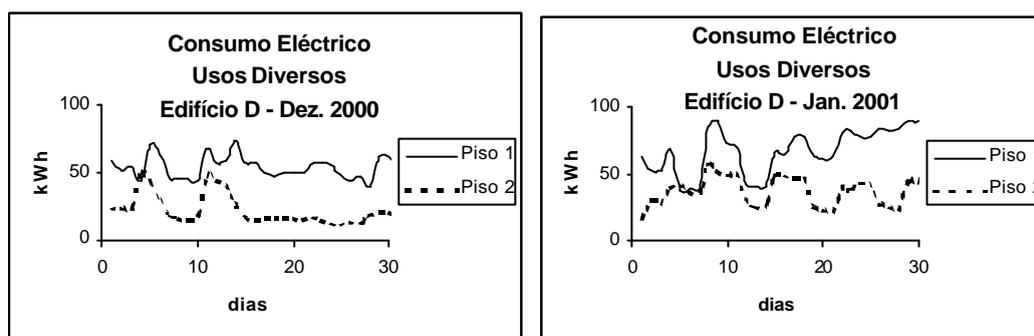


Figura 3. Consumo respeitante a usos diversos nos meses de Dezembro de 2000 e Janeiro de 2001

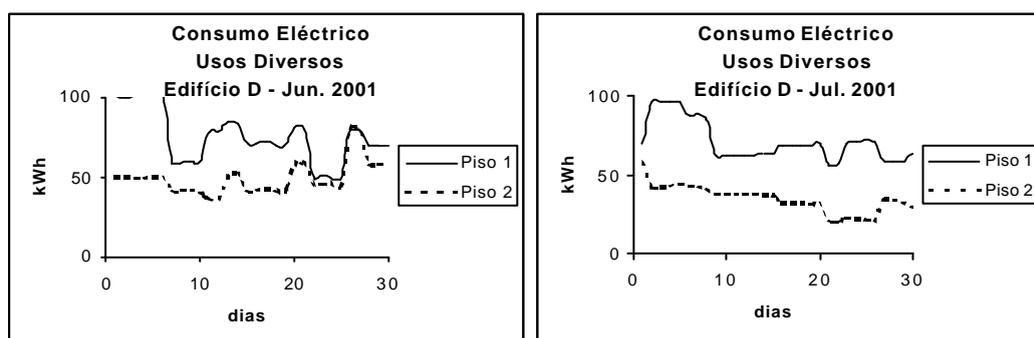


Figura 4. Consumo respeitante a usos diversos nos meses de Junho e Julho de 2001

Da análise dos gráficos é possível verificar que o consumo do piso 1 é sempre superior ao do piso 2. Este resultado deve-se ao facto de no piso 1 existir uma sala de estudo para os alunos, uma pequena biblioteca, a secretaria e a sala de professores. Qualquer uma destas salas com um regime de ocupação intensa ao longo do dia.

O piso 2 é aquele onde se encontram as salas de aulas e por conseguinte com um regime de ocupação distinto do piso inferior e com um tipo de ocupação, não muito intenso. Apenas 2 salas de aulas funcionam com uma taxa de ocupação diária de 5 horas cada.

Os picos verificados ocorreram em diferentes dias da semana pelo que não podem ser justificados por uma taxa superior de ocupação das salas de aulas. Um maior número de dados torna-se necessário para avaliar qualquer tipo de dependência.

Ressalta também que na segunda quinzena de Dezembro e de Julho o consumo eléctrico apresenta-se a um nível inferior, e mais constante, resultante do período de férias escolares.

A Figura (5) representa os consumos para dois meses no edifício B

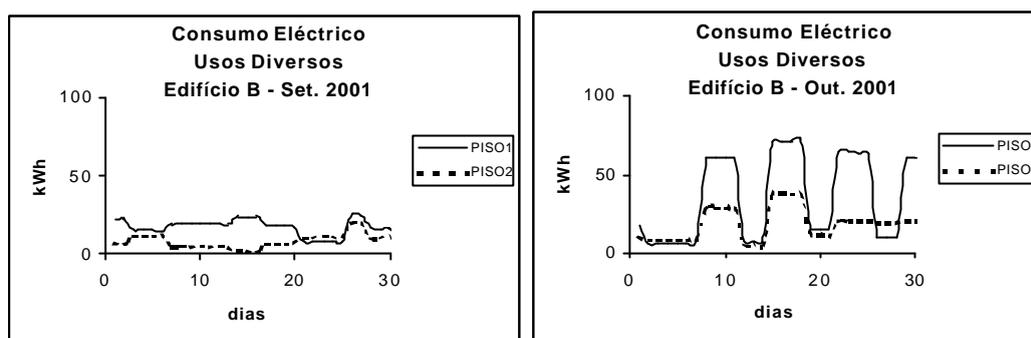


Figura 5. Consumo respeitante a usos diversos nos meses de Setembro e Outubro de 2001

Enquanto no mês de Setembro o consumo apresenta-se com um nível baixo e quase constante resultante do período de férias escolares, no mês de Outubro destaca-se um consumo superior e com baixas significativas nos fins de semana. Este edifício é constituído por salas de aulas e com uma taxa de ocupação muito elevada.

O consumo mensal de energia eléctrica (kWh) nos diferentes edifícios é o indicado na Tab. (6).

Tabela 6. Consumos mensais

	B	C	D	E	F	TOTAL
Nov. 2000			2602			
Dez.			2323			
Jan. 2001			3221			
Fev.			2883			
Mar			2807			
Abr.			2421			
Maio			3660			
Jun.	1280	2281	4204	1770	4679	14217
Jul.	1128	2616	3725	2318	3768	13555
Ago.	147	1575	2401	2057	1362	7542
Set.	992	1869	2319	1861	1617	8658
Out.	2216	2001	2886	2240	5576	14919
Nov.	2493	2299	3343	2396	5533	16064

A análise desta tabela permite verificar um consumo de energia eléctrica sensivelmente constante ao longo dos meses. Em particular, deve ser referido que o decréscimo de consumo no mês de Agosto é notório como resultado do período de férias. Esta diminuição não é tão significativa no edifício E devido ao facto dos serviços administrativos continuarem em funcionamento.

6. CONCLUSÕES

Com base num edifício destinado a uma ESCOLA e que engloba sistemas de controlo ambiental definiu-se um conjunto de acções que permitem verificar a concretização de opções de projecto, caracterizar o desempenho do edifício assim como dos seus sistemas, quantificar o comportamento térmico e analisar os resultados em regime de ocupação.

O plano de monitorização do edifício foi esquematizado aquando da construção do edifício e implementado conjuntamente com a construção deste. Este facto permitiu que as infraestruturas do sistema de monitorização fossem as mais adequadas e não seja originando qualquer alteração arquitectónica, do ponto de vista visual ao utente do edifício, da cablagem necessária ou de equipamento de medição a instalar.

A recente entrada em funcionamento apenas permitiu a obtenção de alguns resultados dos quais qualquer conclusão definitiva é prematura. No entanto, a diminuição de consumo no período de férias escolares é sinal evidente da interligação entre consumo de energia e taxa de ocupação.

ENERGETIC PLAN FOR A BUILDING: A CASE STUDY OF A PORTUGUESE SCHOOL

JOSÉ ABEL ANDRADE

CIDEM – ISEP, Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

R. António Bernardino de Almeida 431, 4200-072 Porto, Portugal

Tel. 351-228340500. Fax: 351-228321159

e-mail. jandrade@dem.isep.ipp.pt

HELENA ISABEL SAMPAIO

CIDEM – ISEP, Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

R. António Bernardino de Almeida 431, 4200-072 Porto, Portugal

Tel. 351-228340500. Fax: 351-228321159

Abstract. The sustainable development requires an actual and real knowledge of the energetic and environmental existent conditions. Particularly, the evaluation must be taken during the operation mode to the database be so as real as possible. The energy consumption in the buildings is included on the service sector on the energy distribution analysis of countries. So, the sector is important in the actual actions to a rational use the energy, and to grow the quality of life on the future. The different energy sources, its distribution, and its final use are analyzed to establish the rational use the energy plans with the levels to goal on the next future when inserted on a long term developing programme. This aim is based on individual actions where the energetic monitoring of a building is insert and it is the objective of this paper. The building to be analyzed is a Polytechnic School. Then the students have the opportunity to be in contact with the project and take some participation. In this context the school becomes an experimental laboratory for energy and it allows sensibleness to energetic problems for the new manager on this area. The paper presents the monitoring programme to a Portuguese school to evaluate the electric energy and the thermal energy on different sectors and its final uses with specially interest on the air conditioning systems.

Keywords. Electric energy, Thermal energy, Monitoring