



# ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## ÍNDICES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO PARA O SETOR DE ESCOLAS PÚBLICAS – ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE ITABIRA - MG

Anádia Patrícia Almeida de Souza(1,2); Patrícia Romeiro da Silva Jota(1)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET – MG,  
Centro de Pesquisa em Energia Inteligente - CPEI, Avenida Amazonas, 7675,  
Nova Gameleira, 30510-000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 55-31- 3319-5213

prsjota@des.cefetmg.br

(2) Prefeitura Municipal de Itabira, anadia@valenet.com.br

### RESUMO

Este trabalho aborda o uso de energia em edificações públicas no setor de Escolas em Itabira, Minas Gerais, sob o enfoque da eficiência energética. Estima-se que as edificações públicas brasileiras consumam 80% de toda energia elétrica gasta no setor público. Assim, os prédios públicos apresentam consumos expressivos e grandes potenciais de economia de energia. É apresentada uma análise da rede de escolas públicas de Itabira (municipal e estadual) com relação ao consumo energético, com o objetivo de traçar um perfil energético da categoria de Escolas Públicas e identificar os índices de desempenho energético (consumo específico) mais representativos para o setor. No caso de escolas, pode-se utilizar algumas quantidades como referência para o cálculo do Consumo Específico, a saber: área, dias trabalhados, número de alunos, número de turnos, número de salas e número de turmas, além da área. Cada uma dessas quantidades de referência nos fornece uma visão diferenciada do uso da energia. É comum a utilização de mais de um índice de desempenho energético para que essas informações possam ser extraídas. Para realizar este estudo, foi considerado o consumo de todo o ano de 2004, o número de dias letivos, o número de alunos, de turmas, de salas de aula e turnos. O trabalho apresenta uma análise dos consumos específicos para cada tipo de quantidade considerada, para cada tipo de rede (municipal e estadual) e para uma rede única (pública). São discutidas as características que justificam o uso diferenciado da energia, bem como as propriedades dos índices utilizados para classificá-los.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Desempenho Energético, Energia em Edifícios.

### ABSTRACT

This work approaches the use of energy in public buildings in the sector of Schools in Itabira, Minas Gerais, under the approach of the energy efficiency. It is known that the Brazilian public buildings consumes 80% of all electric energy spend in the public sector. Thus, the public building present important consumptions and great potentials of save energy. An analysis of the public schools of Itabira (municipal and state) with relation to the energy consumption is presented, with the objective to trace an energy profile of the category of Public Schools and to identify energy performance indices (specific consumption) more representative for the sector. In the case of schools, it can be used some amounts as reference for the calculation of Specific Consumption, to know: worked area, days, number of students, number of turns, number of rooms and number of classrooms, beyond the area. Each one of these amounts of reference supplies a differentiated vision of the energy use. The use of more than an index of energy performance is common so that the information can be extracted. To carry through this study, the consumption of all the year of 2004, the number of period of learning days, the number of students, groups, turn and classrooms was considered. The work presents an analysis of the specific consumptions for each type of considered amount, each type of net (municipal and state) and for an only net (public). The characteristics that justify the differentiated use of the energy, as well as the properties of the used indices are argued to classify them.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Performance, Energy in Buildings.

## **1 INTRODUÇÃO**

Historicamente, os órgãos públicos não investem em eficiência energética, pois a economia de recursos financeiros obtidos com a eficientização dos prédios públicos não reverte para o próprio órgão público, que tem seu orçamento financeiro reduzido no ano seguinte. Além disso, o usuário da edificação não é aquele que paga a fatura de energia elétrica. Assim, torna-se necessário criar alguns mecanismos para incentivar tanto os administradores quanto os usuários da edificação para implementar programas de eficiência energética nas edificações públicas do país.

Um dos maiores usos finais em uma edificação é a iluminação para edificações não climatizadas (sem ar condicionado). Neste contexto, um maior aproveitamento da iluminação natural, integrando adequadamente a iluminação natural e a artificial, auxiliaria em menor uso de energia com iluminação. Em espaços iluminados de forma adequada através de iluminação natural e sistemas de controle de iluminação artificial, pode-se obter economia de energia em iluminação entre 30% e 70% (ALVAREZ, 1998; BAIRD; DONN; BRANDER; AUN, 1984; BENYA; HESCHONG et al., 2001; GHISI; LAMBERTS, 1997 ; MEIER; OLOFSSON; LAMBERTS, 2002). Dentro da classificação de órgão público, o setor de escolas representa uma parcela importante das edificações públicas.

## **2 USO DE ENERGIA EM ESCOLAS**

Na literatura internacional, alguns exemplos de escolas onde foram aproveitados os recursos com iluminação natural exemplificam os benefícios. Na Carolina do Norte, Estados Unidos, nos municípios de Raleigh, Wake e Johnston, escolas estão utilizando sensores que ajustam o nível de iluminação artificial em função da iluminação natural e sensores de ocupação, obtendo-se um consumo de 22 a 64% menor do que escolas similares da região. Em Modane, na França, no College La Vanoise, mais de 70% das necessidades de iluminação da escola, entre 9 e 17 horas, são atendidas pela iluminação natural. No Reino Unido, na De Montford University, através de sensores de ocupação e iluminação natural, estima-se economia de 50 a 75%. Na Espanha, no Infante De Juan Manuel Health Centre, estima-se uma economia de 70% através da combinação de estratégias de iluminação. Em Portugal, Agueda, na Valongo do Vouga School, estima-se que 92% das exigências de iluminação poderiam ser atendidas pela luz natural (GHISI, 1997).

No Brasil, o setor público consumiu 9,2% do total de energia elétrica do país em 2001, ou seja, 28.452 GWh. Estima-se que o consumo de energia elétrica em prédios públicos represente 80% do total consumido pelo setor público, (BRASIL, 2002). Dentre o setor de prédios públicos, as escolas se destacam pelo grande número de edificações e pelo uso intenso de da carga de iluminação na sua matriz energética.

## **3 ESTUDO DE CASO**

Este trabalho tem por objetivo estudar alguns dados do setor de escolas públicas tentando caracterizá-lo através de índices de desempenho mais adequados e representativos. Assim, é apresentado um estudo de caso comparativo de escolas públicas municipais e estaduais de Itabira visando definir um perfil mais próximo possível de cada rede, identificar os usos da energia nas edificações analisadas, bem como sugerir formas de melhorar o desempenho energético destas edificações.

Foram feitos levantamentos junto a CEMIG (histórico de contas de energia), Secretaria Municipal de Educação de Itabira (dados da rede municipal), Inspetoria Escolar de Itabira (dados da rede estadual). Foram levantados os números de alunos, de salas, de turnos, de turmas e calendários de todas as escolas públicas de Itabira. A partir destes dados foram calculados diversos consumos específicos.

Itabira é uma cidade mineradora, e está localizada na região sudeste do Brasil, no estado de Minas Gerais. Itabira possui dois distritos, Senhora do Carmo e Ipoema, zonas rurais. Itabira possui área de 1.257 km<sup>2</sup> com população estimada em 2005 de 106.289 habitantes (IBGE, 2006).

O clima de Itabira é tropical de altitude. Sua altitude varia de 783m a 1.672m. A latitude é 19°15'18" e sua longitude, 43°47'45". A temperatura média anual é 20,1°C. Possui temperatura média máxima anual de 26,5°C e média mínima anual de 15,9°C.

Considerando que as escolas são predominantemente públicas (82,4%), estas foram eleitas para serem foco desse estudo. A cidade de Itabira apresenta um grupo bastante diversificado de escolas contemplando desde escolas de pequeno porte (com 3 salas de aula e 44 alunos) a escolas de grande porte (com 26 salas de aula e 2.086 alunos). O consumo energético também varia em função do tamanho da escola e das facilidades disponíveis, tais como: laboratórios, pátios e/ou ginásios esportivos, salas de informática, salas de vídeo, auditórios, dentre outros, demandando maior quantidade de energia com equipamentos de iluminação, vídeo, televisão, computador, som, etc. O menor consumo energético avaliado no período de janeiro a dezembro de 2004 foi de 1.789 kWh e o maior 76.280 kWh. As escolas funcionam em um, dois ou três turnos.

A TAB. 1 mostra a faixa de variação de alunos, salas, turnos, turmas e alunos por turma na rede municipal, estadual e pública (municipal + estadual). Observa-se que alguns dados caracterizam o porte das escolas analisadas. Verifica-se que a rede de escolas municipais de Itabira é caracterizada por escolas de pequeno e médio porte, enquanto a rede estadual é composta por escolas de médio e grande porte. Utilizando os dados coletados também foi possível obter o número médio de alunos por turma que é muito inferior nas escolas municipais.

Tabela 1 - Faixa de variação dos dados escolares

	Alunos	Salas	Turnos	Turmas	Alunos por turma
Municipais	44 - 662	3 - 15	1 - 3	2 - 36	14 - 28
Estaduais	421 - 2086	8 - 26	2 - 3	16 - 57	26 - 43
Públicas	44 - 2086	3 - 26	1 - 3	2 - 57	14 - 43

#### 4 METODOLOGIA

Foram feitos levantamentos de dados das escolas como número de alunos, salas, turmas e turnos, além dos calendários letivos. Observou-se que as escolas da rede municipal possuem um calendário único e da rede estadual cada escola faz o seu próprio calendário, porém todas as escolas, tanto da rede municipal quanto da estadual, possuem 200 dias letivos.

Analizando o histórico de contas do período de consumo de janeiro a dezembro de 2004, notou-se que algumas escolas possuem consumos nulos em alguns meses e depois valores elevados. Assim, buscou-se uma explicação para o fato e a concessionária informou que especialmente escolas da zona rural de difícil acesso, estrada de terra, a leitura é feita de 3 em 3 meses. Assim, optou-se por considerar o consumo anual e os 200 dias letivos anuais. Para analisar o uso energético no setor, é necessário determinar índices de desempenho energético capazes de evidenciar as relações de causa e efeito entre variáveis.

#### 4.1 Consumo específico

O índice de desempenho energético é muito utilizado para auxiliar na avaliação do consumo de energia em diversos setores. No Brasil, utiliza-se o termo consumo específico (CE) para representar este índice. O CE é um parâmetro importante para se saber se a instalação está operando eficientemente com relação ao uso da energia elétrica, e pode ser calculado pela equação 1.

$$CE_i = \frac{CA_i}{QP_i} \quad (\text{equação 1})$$

onde:

CA<sub>i</sub> – consumo anual de energia no período analisado;

QP<sub>i</sub> - quantidade produzida (ou serviço) no período analisado.

No caso de escolas, pode-se utilizar algumas quantidades como referência para o cálculo do Consumo Específico, a saber: área, dias trabalhados, número de alunos, número de turnos, número de salas e número de turmas. Cada uma dessas variáveis nos fornece uma visão diferenciada do uso da energia. É comum a utilização de mais de um índice de desempenho energético para que essas informações possam ser extraídas.

Para avaliar o perfil de uso de energia nas escolas públicas, foram utilizados quatro tipos de índices de desempenho energético (CE):

- Energia gasta por aluno kWh/aluno - CE<sub>aluno</sub>
- Energia gasta por turno kWh/turno - CE<sub>turno</sub>
- Energia gasta por sala kWh/sala - CE<sub>sala</sub>
- Energia gasta por turma kWh/turma - CE<sub>turma</sub>

A TAB. 2 apresenta os valores mínimos e máximos dos índices de desempenho energético encontrados.

Tabela 2 - Consumo específico diário das escolas públicas de Itabira

	Municipais	Estaduais	Públicas
CE <sub>dia letivo</sub> (kWh/dia)	8,94 - 156,26	34,39 - 381,40	8,94 - 381,40
CE <sub>aluno</sub> (kWh/(dia*aluno))	0,13 - 1,41	0,07 - 0,18	0,07 - 1,41
CE <sub>sala</sub> (kWh/(dia*sala))	2,97 - 21,21	3,82 - 19,40	2,97 - 21,21
CE <sub>turno</sub> (kWh/(dia*turno))	8,94 - 93,36	17,19 - 127,13	8,94 - 127,13
CE <sub>turma</sub> (kWh/(dia*turma))	2,67 - 21,21	2,15 - 7,28	2,15 - 21,21

O estudo de correlação dos índices de desempenho das escolas indicou que existe uma ligação efetiva entre o consumo médio diário (kWh/dia letivo) e o número de alunos, salas e turmas da escola, TAB. 3. As correlações entre as variáveis das escolas estaduais são muito mais elevadas.

O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), paramétrico, varia de  $-1$  a  $1$ , dado pela equação:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Tabela 3 - Correlação entre consumo médio diário e demais fatores

	kWh/dia x alunos	kWh/dia x salas	kWh/dia x turmas	kWh/dia x turnos
Municipais	0,70	0,72	0,78	0,69
Estaduais	0,93	0,86	0,93	0,24
Públicas	0,82	0,81	0,83	0,54

\*Todas as correlações apresentaram índice de significância de 100%.

Tabela 4 - Média de consumo médio diário e consumo específico diário

Média	CE <sub>dia letivo</sub> kWh/dia	CE <sub>aluno</sub> kWh/(dia*aluno)	CE <sub>sala</sub> kWh/(dia*sala)	CE <sub>turno</sub> kWh/(dia*turno)	CE <sub>turma</sub> kWh/(dia*turma)
Municipais	68,85	0,35	8,89	40,21	6,50
Estaduais	125,83	0,11	9,06	47,21	3,95
Públicas	88,73	0,27	8,95	42,65	5,61

Apesar de apresentarem valores elevados dos desvios-padrão, alguns indicativos podem ser obtidos destes dados. A TAB. 4 apresenta os valores médios do consumo médio diário corrigido para cada uma das redes. Observa-se que a rede estadual apresenta o maior consumo médio diário. Como esta rede é composta de escolas maiores, este resultado era esperado. Porém, quando se observa os consumos específicos para cada uma das redes têm-se alguns indicativos mais expressivos. Observa-se que o  $CE_{aluno}$  para a rede municipal é mais de dez vezes o da rede estadual. Isto indica que o custo unitário de energia por aluno na rede municipal é muito alto. O  $CE_{sala}$  por sua vez indica uma grande similaridade, ou seja, as redes gastam quantidades semelhantes de energia por sala de aula. Já o índice  $CE_{turma}$  indica um custo maior por turma da rede municipal. Cruzando estes dados com os da TAB. 1. observa-se que o número de alunos por turma na rede municipal é bem menor tornando o custo por aluno e por turma muito mais elevado nesta rede.

A TAB. 5 apresenta os desvios padrão dos consumos específicos. Observa-se uma grande variação entre as escolas da mesma rede. A falta de homogeneidade é grande para qualquer uma das redes analisadas.

Tabela 5 - Desvio Padrão de consumo médio diário e consumo específico diário

Desvio	$CE_{dia\ letivo}$ kWh/dia	$CE_{aluno}$ kWh/(dia*aluno)	$CE_{sala}$ kWh(dia*/sala)	$CE_{turno}$ kWh/(dia*turno)	$CE_{turma}$ kWh/(dia*turma)
Municipais	38,43	0,31	4,48	20,66	4,58
Estaduais	93,18	0,03	3,84	31,09	1,44
Públicas	67,81	0,27	4,22	24,66	3,96

## 5 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

A análise dos índices será apresentada a seguir separadamente.

### 5.1 Análise de consumo específico por aluno

Na rede municipal, no GRÁF. 1.1, consumo médio diário x aluno, observa-se algumas escolas pequenas (menos de 100 alunos) com grande consumo energético. Estas escolas estão situadas na zona rural. Existem também escolas de grande porte (mais de 600 alunos) com consumo elevado (similar ao consumo das escolas de médio porte), o que era esperado. Observa-se que os dados podem ser modelados por um modelo de 1<sup>a</sup> ordem, como mostrado. Já no GRÁF. 1.2,  $CE_{aluno}$  x aluno, pode-se verificar a eficácia deste índice de desempenho energético, pois, neste caso, o modelo mais adequado a ser utilizado é a média. Assim, é possível estabelecer uma meta para o  $CE_{aluno}$  e trabalhar com as escolas que apresentam valores bastante distantes da meta. Neste caso, verifica-se uma concentração do índice em valores abaixo de 50kWh/aluno. Neste caso, é possível verificar que 5 escolas de pequeno porte (<100 alunos) apresentam grande discrepância com as demais indicando um estudo mais detalhado para se verificar os motivos. O GRAF. 2.1 e 2.2 ilustram a mesma análise realizada para a rede estadual. Esta rede é composta por escolas de maior porte e apresenta um melhor aproveitamento da energia, que pode ser

observado pelo CE<sub>aluno</sub> que apresenta valores bem mais baixos do que os da escola municipal.

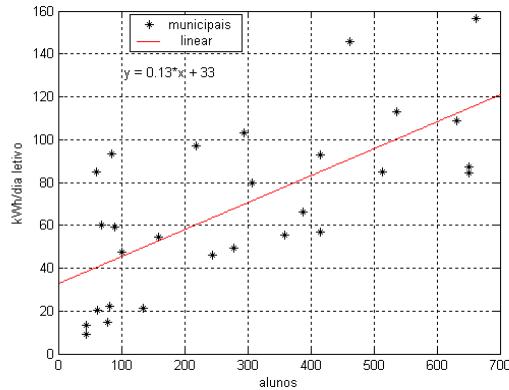


Gráfico 1.1 - Consumo médio diário x aluno - municipais

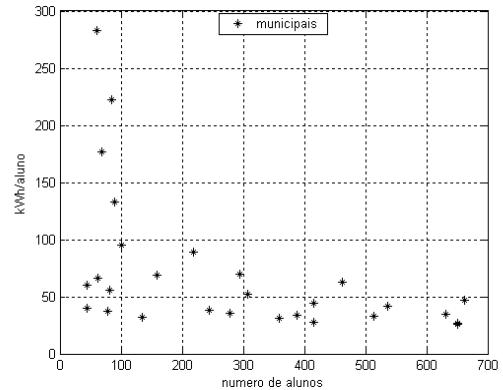


Gráfico 1.2 - CEaluno x aluno - municipais

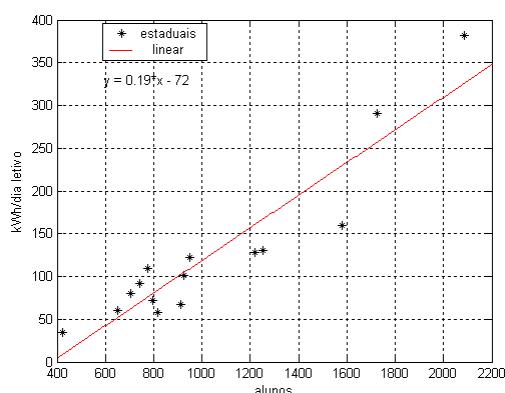


Gráfico 2.1 - Consumo médio diário x aluno - estaduais

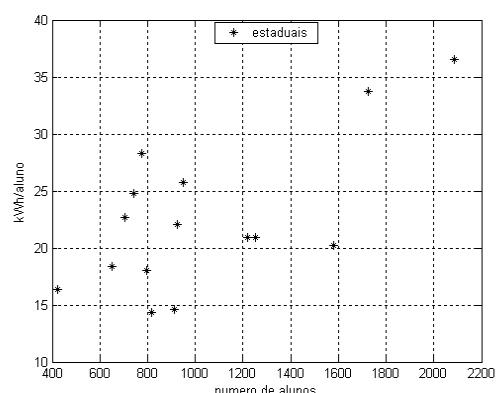


Gráfico 2.2 - CEaluno x aluno - estaduais

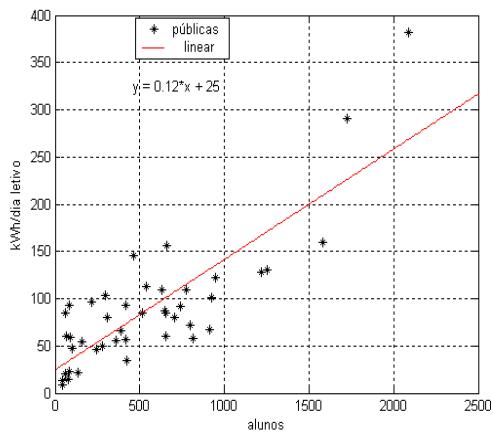


Gráfico 3.1 - Consumo médio diário x aluno - públicas

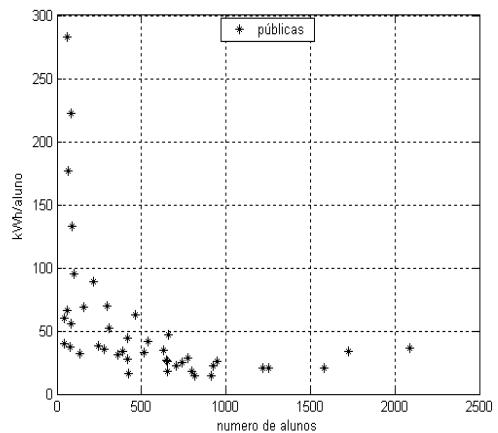


Gráfico 3.2 - CEaluno x aluno - públicas

Nos GRÁFs. 3.1 e 3.2 são apresentados os dados para as duas redes de escolas. Como a rede municipal é bem maior que a estadual, observa-se uma predominância do modelo linear da primeira rede. Entretanto, é interessante observar no GRAF. 3.2 o comportamento global das escolas. Escolas pequenas apresentam  $CE_{\text{aluno}}$  maiores, seguido por uma queda brusca para valores na faixa de 50kWh/aluno, seguido por outro patamar em torno de 25kWh/aluno e ao final um patamar acima para escolas de grande porte em torno de 35kWh/aluno. Este gráfico resume o comportamento da rede de escolas públicas. O GRAF. 4 ilustra o resumo da rede pública.

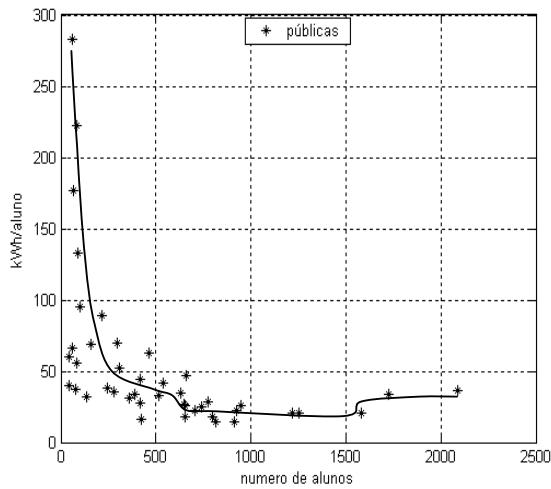


Gráfico 4 – Representação do modelo do  $CE_{\text{aluno}}$  x aluno para as escolas públicas de Itabira

## 5.2 Análise de consumo específico por sala

A mesma análise foi realizada para o índice de desempenho energético –  $CE_{sala}$  – consumo específico por sala de aula. Aqui serão apresentado apenas os gráficos com os índices de desempenho.

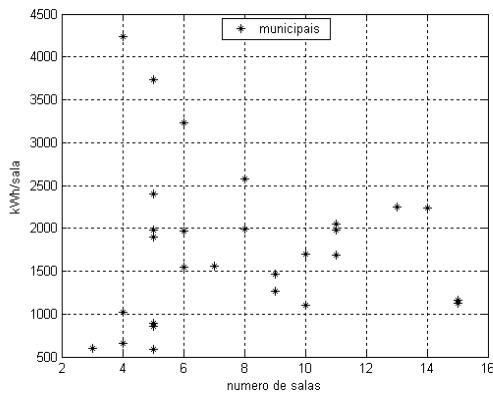


Gráfico 5.1 - CESala x sala - municipais

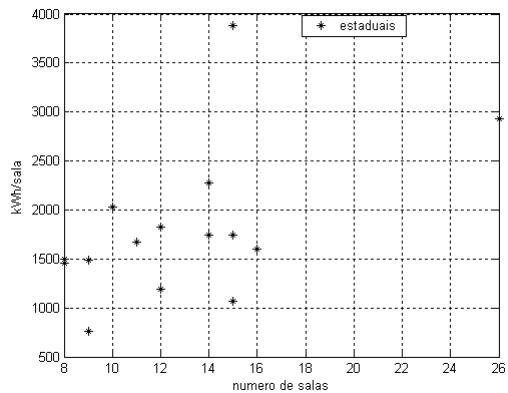


Gráfico 5.2 - CESala x sala - estaduais

No GRÁF. 5.1, CESala x sala da rede municipal, observa-se algumas escolas com pequeno número de salas e elevados consumos de energia. O gráfico indica que é possível se ter escolas de portes variáveis que gastam quantidades semelhantes de energia por sala (4, 10 ou 15 salas). Na rede estadual, GRÁF. 4.2, nota-se uma escola com 15 salas e com consumo muito elevado por sala. Ambas as redes possuem valor médio em torno de 1800kWh/sala por ano ou 9kWh/sala por dia letivo.

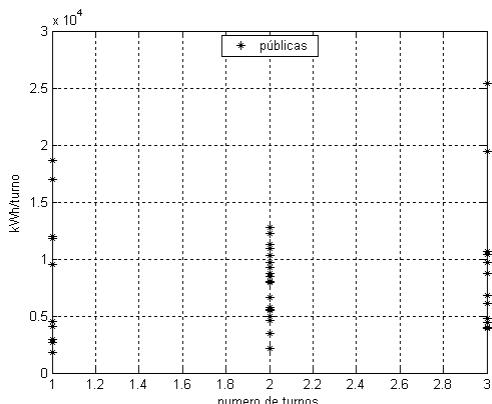


Gráfico 6 - CEturno x turno – públicas (municipais + estaduais)

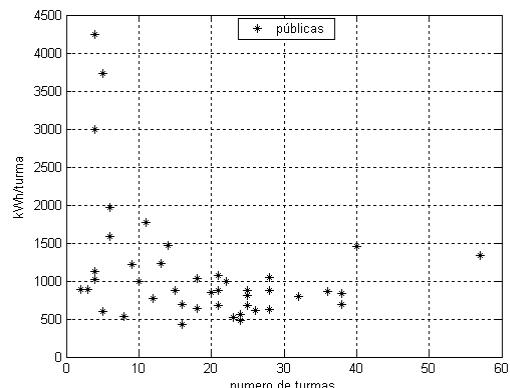


Gráfico 7 - CEturno x turma - públicas

## 5.3 Análise de consumo específico por turno

A variável número de turnos traz informações sobre a influência do uso da escola em mais de um turno no consumo de energia. Há uma grande dispersão de  $CE_{turmo}$  para um mesmo número de turnos, GRAF.6. Apesar disto, observa-se que as escolas que possuem apenas um turno tendem a

apresentar  $CE_{turno}$  médio de 6986kWh/turno . As de dois turnos apresentam  $CE_{turno}$  médio de 4233kWh/turno e os de três turnos valor médio de 2585 kWh/turno. Ou seja, a eficiência no consumo por turno aumenta com o número de turnos, já que diversos equipamentos gastam energia mesmo estando a escola fechada, tais como: geladeira, iluminação noturna, etc.

#### 5.4 Análise de consumo específico por turma

Analisando o consumo específico por turma -  $CE_{turma}$ , observa-se uma similaridade com o  $CE_{aluno}$ . Tanto as escolas estaduais, quanto as municipais, apresentam número de alunos por turma fixo. Este número é bastante distinto entre as redes causando alteração quando se analisa o consumo por sala.

### 6 CONCLUSÕES

A análise dos dados das escolas públicas da cidade de Itabira auxiliou na análise de índices de desempenho energético tradicionais e proposição de novos índices possíveis de serem adotados pelo setor. Utilizou-se quatro variáveis: número de alunos, número de turnos, número de salas e número de turmas. A análise indicou algumas características próprias do setor como o alto nível de dispersão, reforçando a necessidade de estudos mais aprofundados. O uso de vários índices possibilita comparar edificações de uma mesma classe, normalizando-as por alguma quantidade que auxilie na compreensão do uso da energia. A utilização de índice de consumo específico por área e por dias trabalhados sozinhos pode levar a conclusões equivocadas e devem ser evitados, uma vez que a área pode não ter uma relação direta com o consumo energético. A partir dos consumos específicos pesquisados é possível identificar quais as unidades são mais eficientes e quais as características dessas unidades (do edifício ou do gerenciamento de uso) que leva à maior eficiência.

### 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JOTA, P. R. S. ; SOUZA, Anádia Patricia Almeida . Desempenho Energético de Escolas Públicas . In: X Congresso Brasileiro de Energia, 2004, Rio de Janeiro. X Congresso Brasileiro de Energia, 2004.

SOUZA, Anádia Patricia Almeida. Uso da Energia em Edifícios: Estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais. 2005. 199 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

ALVAREZ, André Luiz Montero. *Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares.* 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BAIRD, George; DONN, Michael R.; BRANDER, William D. S.; AUN, Chan Seong. *Energy Performance of Buildings.* Energy Research Group – School of Architecture – Victoria University. Wellington, New Zealand: CRC Press, Inc – Boca Raton Florida, 1984, printed in the United States. 202 p.

BENYA, James; HESCHONG, Lisa et al. *Advanced Lighting Guidelines:* 2001 Edition. NBI - New Buildings Institute, Inc. para a California Energy Commission. Califórnia, 20 de julho de 2001, 394p.