

# DISCUSSÃO SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO ENSINO TÉCNICO, ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE CONTROLADOR DE ILUMINAÇÃO

**Agesandro Caetano Corrêa** – agesandro.correa@ifpa.edu.br  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
**Francisco Xavier Lima da Silva** – fxavierlima@ibest.com.br  
Universidade Federal do Pará, GEDAE  
**Eder Mendes Damasceno** – eder.rei@hotmail.com  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

**Resumo.** Este trabalho foi realizado durante a orientação de bolsa de iniciação científica júnior de um aluno do curso técnico em eletrônica de nível médio, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), desenvolvido desde uma etapa inicial de conscientização do bolsista para a importância do tema eficiência energética e utilização racional de energia, visto que os graves problemas sociais e ambientais atuais demandam projetos educacionais neste sentido, até a montagem e teste em escala do protótipo de um controlador de iluminação de uma sala, onde também se discutiu a finalidade e princípio de funcionamento de componentes eletrônicos. A parte técnica do projeto foi desenvolvida passo a passo, iniciando pela calibração do sensor de iluminação, montagem do circuito elétrico do controlador utilizando um microcontrolador “Step Basic”, montagem de uma maquete para simular um ambiente de uma sala que utiliza iluminação natural em conjunto com iluminação artificial, desenvolvimento de um algoritmo de controle de três lâmpadas e programação do microcontrolador em linguagem Basic, testes de desempenho do controlador no ambiente da maquete, desenho dos gráficos da função de regulação do controlador e relatório do projeto. Apesar dos valores obtidos na regulação do nível de iluminação diferir dos valores esperados, devido à precariedade do material usado na maquete, os resultados qualitativos de funcionamento obtido do controlador comprovaram o algoritmo de controle proposto com sucesso. O ganho em termos de aprendizagem do bolsista foi verificado no relatório produzido.

**Palavras-chave:** Iluminação, Conforto ambiental, Controlador, Basic, Eficiência energética.

## 1. INTRODUÇÃO

Os graves problemas sociais e ambientais atuais demandam o desenvolvimento sistemático de ações escolares inseridas em projetos educacionais, capazes de fomentar novos hábitos, atitudes e comportamentos mais conscientes entre os alunos. Muitos aspectos relacionados aos conteúdos escolares podem e devem ser abordados buscando-se uma integração entre diferentes ramos de conhecimento.

A necessidade de tornar os conteúdos científicos dotados de significado, bem como de discutir o papel das ciências e das tecnologias na sociedade contemporânea, tornou-se questão das mais importantes no cenário educacional das duas últimas décadas (Pietrocola, 2003). O tema iluminação de ambientes com luz artificial bem como a discussão do melhor aproveitamento da luz natural oferecem aos alunos e professores dos níveis médios e técnicos oportunidade para discutir tanto assuntos tecnológicos e científicos envolvidos bem como reflexão a respeito da utilização racional da energia, visto que, grande parte do consumo da mesma se deve a iluminação, isto será feito neste trabalho a partir da construção de um sistema que controla a luz em um ambiente interior que utiliza tanto luz natural quanto artificial.

Ao longo da história, a luz natural sempre teve um papel importante na arquitetura, do ponto de vista estético e simbólico, e em relação ao conforto e a iluminação funcional.

Segundo Amorim (2005), na última década, progressos significativos nos sistemas para a utilização da luz natural foram feitos, incluindo componentes de projeto inovadores e novos materiais, que podem ser usados para controlar e redirecionar a luz natural nos ambientes. O recente interesse pelas questões ambientais, e a busca de eficiência energética e conforto ambiental, estimulou um retorno ao uso da luz natural nos edifícios.

Deve-se ter em mente que mesmo nos prédios mais modernos a eficiência energética alcançada depende da boa utilização conjunta de luz natural e artificial sendo que a última deve suprir de maneira adequada a insuficiência da primeira visando à maior economia possível, o que só é conseguido mediante dispositivos de controle. É importante balancear a qualidade e a quantidade de iluminação em um ambiente, bem como escolher, adequadamente, a utilização da luz natural junto à artificial.

Nesse artigo são consideradas as normas criadas para definir o nível de iluminação tais como a NBR 5413 que estabelece os valores de iluminância médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras. Em seguida é proposto um algoritmo de controle de iluminação de uma sala, montado um protótipo e feito testes de funcionamento em uma maquete que reproduz o ambiente de iluminação de uma sala.

## 2. OBJETIVO DO TRABALHO

Construir passo a passo um protótipo de sistema de iluminação que controla a luz artificial no ambiente fechado que utiliza também luz natural, e com este feito oportunizar a alunos do ensino técnico de eletrônica de nível médio o aprendizado sobre o funcionamento e utilização de componentes eletrônicos tais como: sensores, microcontroladores, e relés, além de chamar atenção dos mesmos para os benefícios do melhor aproveitamento da luz natural e da importância dos dispositivos de controle que permitem a utilização de luz artificial de maneira mais eficiente, possibilitando o entendimento do princípio de funcionamento deste tipo de dispositivo além da conscientização para utilização racional de energia e importância da eficiência energética.

## 3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONSUMO RACIONAL DE ENERGIA

O combate ao desperdício de energia funciona como uma fonte virtual de produção de energia elétrica. Isto quer dizer que a energia não desperdiçada por um consumidor pode ser utilizada por outro. Esta é a “fonte” de produção de energia mais econômica e mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente. A racionalização do uso de energia possibilita melhor qualidade de vida, gerando conseqüentemente, crescimento econômico, emprego e competitividade. Uma Política de Ação referente à Eficiência Energética tem como meta o emprego de técnicas e práticas capazes de promover os usos “inteligentes” da energia, reduzindo custos e produzindo ganhos de produtividade e de lucratividade, na perspectiva do desenvolvimento sustentável.

Quando se trata de energia elétrica, verifica-se que as fontes de energia na natureza estão cada vez mais escassas e temos que procurá-las cada vez mais distantes dos centros consumidores. A tendência mundial é o combate ao desperdício através de equipamentos eficientes e novos hábitos de consumo. Além disso, restrições econômicas nos levam ao uso racional das capacidades disponíveis, em lugar de se construir novas unidades de geração e transmissão.

A iluminação é responsável por aproximadamente, 24% do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Vários trabalhos desenvolvidos mostram que a iluminação ineficiente é comum no Brasil. Uma combinação de lâmpadas, reatores e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica (Santos, *et al.*, 2006). A utilização de dispositivos controladores de iluminação artificial nos ambientes são muito úteis para se obter luminosidade de maneira adequada além de proporcionarem melhor aproveitamento da luz natural.

## 4. CONTROLADOR DE ILUMINAÇÃO DE UMA SALA

A iluminação de uma sala deve seguir normas técnicas apropriadas para cada uso, neste caso os níveis de iluminação são medidos em lux e deve ficar dentro dos limites aceitáveis pelas normas que determinam valores para luminância de interiores.

A norma NBR 05413 estabelece valores médios em serviço da iluminância em lux por tipo de atividade incluindo um valor mais alto em situações de uso mais crítico e um valor mais baixo onde o uso é de menos importância, além disso, inclui fatores de correção para classes das tarefas visuais, inclusive com a classe de idade do observador, velocidade e precisão e refletância de fundo. Recomenda ainda que a iluminância em qualquer ponto da área de trabalho não seja inferior a 70% do valor máximo, e outras especificidades. Em complemento a esta norma a NBR 5382 determina como deve ser feita a verificação da iluminação de interiores e a NBR 5461 define as terminologias usadas em iluminação.

Neste trabalho de desenvolvimento de um protótipo considerou-se como valores aceitáveis de iluminação uma faixa de 468 a 750 lux, o que corresponde a um limite inferior de 62,5% do valor máximo. Observamos que se fosse usado quatro lâmpadas o limite inferior ficaria em 70% em relação ao valor máximo, porém devido a limitação de entradas/saídas do microcontrolador fomos obrigados a usar apenas três lâmpadas.

Normalmente é utilizado um luxímetro para a medida do nível de iluminância. Neste trabalho o luxímetro foi substituído por um resistor dependente de luz (LDR) com um custo muito reduzido. Para isso foi feita uma calibração do LDR usando-se o luxímetro como padrão de comparação (Damasceno e Corrêa, 2008). Uma vez calibrado, pode-se usar o LDR para servir como sensor no controlador automático de iluminação de uma sala. Este controlador deve acionar (ligar/desligar) três fontes de luz artificial de iguais intensidades, de forma a manter a iluminação dentro dos limites estabelecidos por norma, mesmo com a intensidade variável de luz natural que entra na sala. O principal objetivo é oferecer um grande conforto visual para os usuários, mantendo a iluminação na área de trabalho entre limites máximos e mínimos. Este controlador deve produzir uma grande economia no consumo de energia elétrica, pois só aciona a iluminação artificial na falta de intensidade suficiente de luz natural na sala.

### 4.1 O protótipo do controlador

O protótipo foi montado com um microcontrolador Basic Step OEM e com alguns componentes como reles, capacitores, transistores, resistores, LEDs, display, botões e chaves. Todo o protótipo foi montado em uma “proto

board” com exceção da fonte de alimentação de 5 Vcc. Este controlador é capaz de acionar três lâmpadas com capacidade máxima de 50 W cada, que podem ser do tipo fluorescente ou incandescente.

Além dos circuitos elétricos, um elemento importante para o desenvolvimento deste protótipo foi a linguagem de programação do microcontrolador Basic Step LT. O Basic é uma linguagem de programação de fácil aprendizagem, devido sua semelhança com as expressões matemáticas usadas no nível médio. É uma ferramenta didática que pode ser usada para o ensino de programação no nível de educação básica e técnica.

O microcontrolador Basic Step LT é muito usado devido seu fácil manuseio e sua linguagem de programação na linguagem Basic. O mesmo é utilizado em varias tarefas envolvendo programações simples como: a construção de alarmes, sinalização de saídas de veículos, e varias outras utilidades. Para quem quer iniciar um curso de programação o BASIC é muito útil (Angnes, 2003).

#### 4.2 Funcionamento do protótipo

O sensor deve ficar posicionado na área de trabalho, a informação do valor de iluminância é enviada para o microprocessador, o programa verifica se o nível está dentro dos valores máximos e mínimos estabelecidos para o conforto visual da sala, se estiver abaixo do nível mínimo, as lâmpadas são ligadas sequencialmente até que a intensidade fique dentro destes valores. Se o nível luminoso estiver acima do máximo às lâmpadas são desligadas na seqüência inversa. O gráfico apresentado na figura 1 descreve este funcionamento. Neste gráfico foi inicialmente suposto que cada lâmpada colabora com 25% da iluminação necessária para atingir o valor máximo. O limite superior é considerado em 100% e o mínimo de 62,5% da intensidade ideal máxima para uma determinada aplicação. Assim à noite, sem nenhuma colaboração da luz natural, as três lâmpadas devem estar acesas atingindo o valor de 75% do valor de referencia máximo, portanto, dentro da faixa de valores aceitáveis. Com o aumento da iluminação natural, este valor pode atingir o limite superior de 100%, neste instante uma lâmpada apaga, voltando o valor de iluminação para 75%, se a intensidade de luz natural continuar subindo as lâmpadas continuam apagando (seqüencialmente) até que todas as lâmpadas apaguem e a luz natural seja capaz de atender a iluminação da sala até o valor máximo de 100%. É importante também que as aberturas de aproveitamento da luz natural sejam devidamente dimensionadas para que no caso de máxima disponibilidade da luz solar, a intensidade de iluminação no plano de trabalho da sala não ultrapasse o valor superior a 100%, por questões de conforto visual. No caso do declínio da iluminação natural, as lâmpadas são acesas na seqüência inversa, sempre que o nível atingir o valor mínimo de 62,5%, neste instante o nível sobe para 87,5%, também dentro da faixa de conforto para o usuário, com a diminuição gradual da iluminação natural, este processo continua até que as três lâmpadas estejam acesas ao anoitecer.

O controlador permite também que o acionamento das lâmpadas seja feito de forma manual, desabilitando o controle automático e permitindo desta forma, que o usuário possa desligar ou ligar as lâmpadas quando necessário e conforme o desejado.

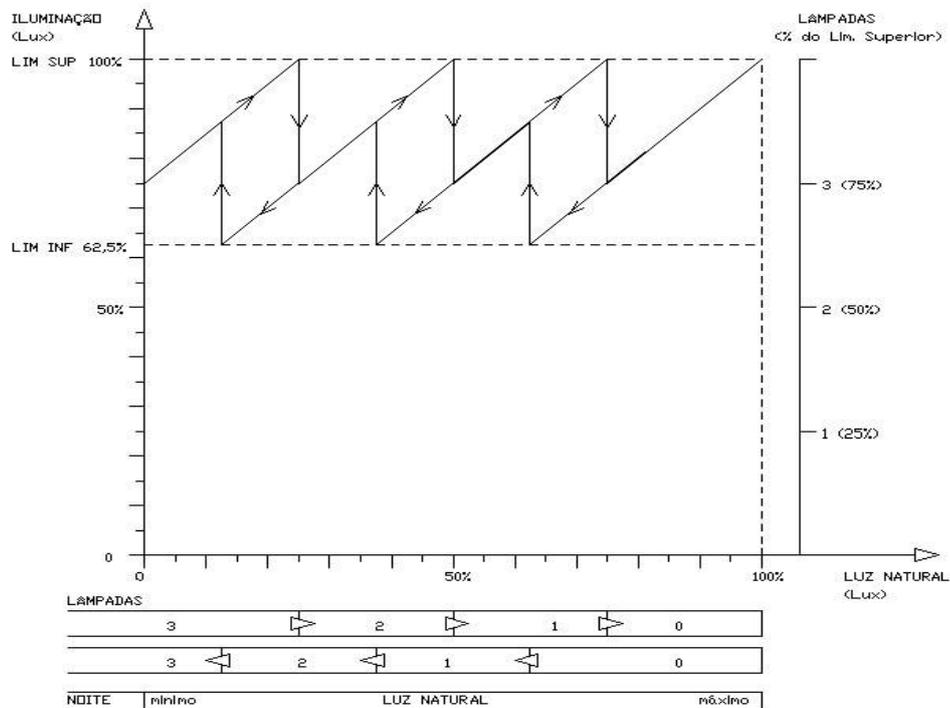


Figura 1: Gráfico da função de regulação da intensidade luminosa em função da variação da luz natural.

### 4.3 Teste de funcionamento na maquete

Os testes de funcionamento do protótipo foram improvisados em uma caixa de papelão que funcionou como uma maquete de uma sala. Nesta, se usou três lâmpadas incandescentes de baixa potência (5 W) instaladas no “teto” da caixa, na base da caixa colocou-se o sensor LDR e o Luxímetro. Os valores máximos (100%) e mínimos (62,5%) deste experimento foram de 800 lux e 500 lux respectivamente, para estes valores, cada lâmpada deve produzir 200 lux na área de trabalho, sendo que as três lâmpadas acesas produzem 600 lux sem a iluminação natural. Devido ao efeito da escala da maquete, foi necessário que as três lâmpadas fossem parcialmente cobertas com papel alumínio para que cada uma produzisse exatamente 25% da intensidade máxima usada no experimento (200 lux), este ajuste foi feito com o auxílio do luxímetro. As pequenas dimensões da caixa de papelão da maquete possibilitaram o uso de lâmpadas com este baixo valor de potência. A foto da maquete pode ser vista na Figura 2.

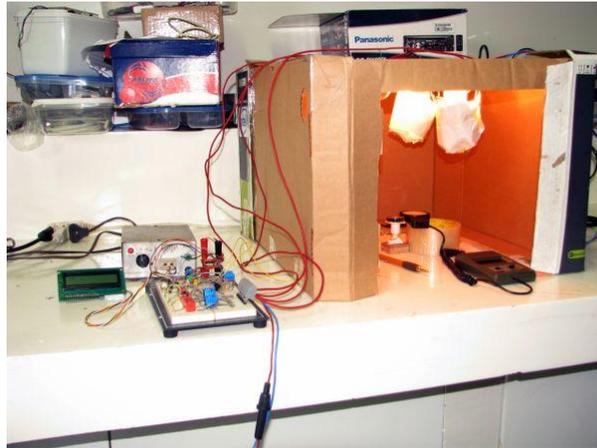


Figura 2: Foto da maquete onde foi testado o sistema de controle de iluminação

O resultado desta calibração das três lâmpadas é apresentado na Figura 3, sendo que no eixo horizontal temos o número de lâmpadas acesas e nos eixos verticais os valores em lux e valor lido pelo programa Basic.

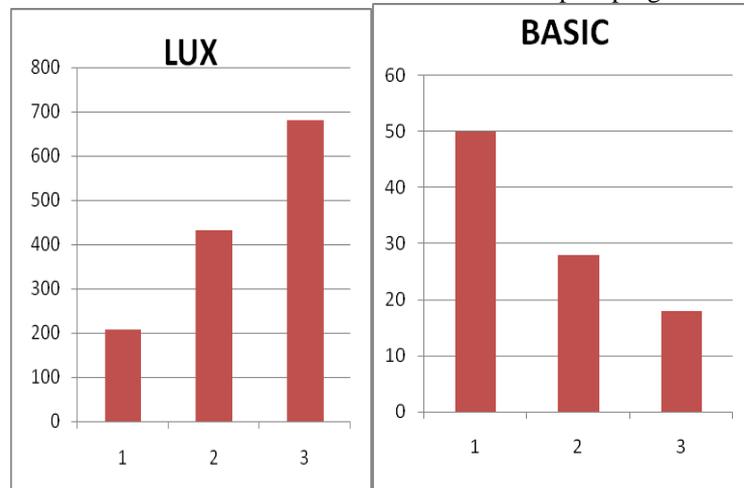


Figura 3: Calibração das 3 lâmpadas usadas.

Nesse gráfico observamos como o valor na linguagem BASIC obtido da leitura do LDR é inversamente proporcional ao valor medido pelo luxímetro (em lux), ou seja, quanto maior o valor lido pelo programa Basic, menor o valor em lux e vice-versa, isso quer dizer que o controlador fornece no display um valor em ordem decrescente quando o nível de iluminação sobe, e ascendente quando o nível de iluminação cai. Esta informação no display foi usada para o desenvolvimento do protótipo, em uma nova versão deste, a informação no display, se for usado, deve pelo menos ser na razão direta com a intensidade de iluminância e indicada em lux ou múltiplos deste. Neste protótipo a informação do display ficou desta forma devido à limitação de memória do microcontrolador Basic Step.

Para simular a contribuição da luz natural, variando entre zero (noite) e plena iluminação natural, foi utilizada uma lâmpada 12V/30W alimentada por uma fonte de tensão de bancada ajustável. Da mesma forma utilizou-se o Luxímetro para este ajuste. O resultado desta calibração encontra-se na Figura 3, este gráfico mostra a relação da potencia da lâmpada com nível de iluminação, observe que é possível variar a intensidade de luminância entre zero até próximo de 1000 lux, com a variação da potencia da fonte de bancada ajustável.

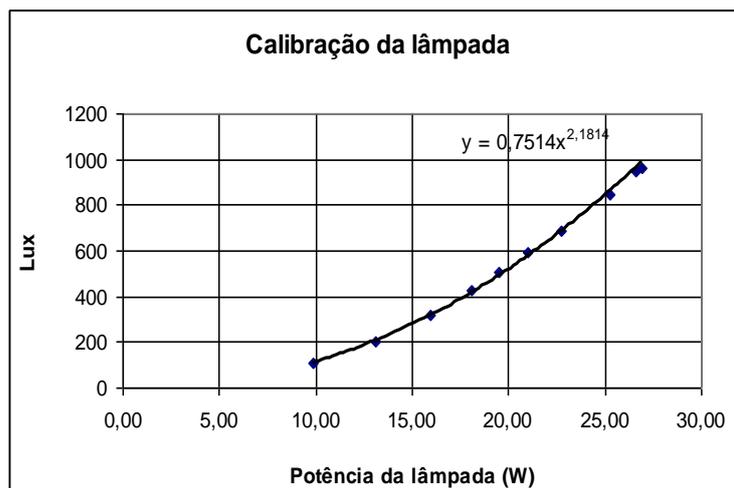


Figura 3: Gráfico de calibração da lâmpada que simula a iluminação natural, variando de zero a 1000 lux.

Na Tabela 1, além dos valores de potência da lâmpada e a intensidade de luminância obtida, são apresentados os valores correspondente na linguagem do microcontrolador (BASIC) lido através do LDR. Desta tabela foram retirados os valores utilizados no programa Basic para se determinar os limites de decisões do algoritmo.

Tabela 1: Valores obtidos na calibração da lâmpada que simula o Sol.

| P(W)  | Lux | BASIC LDR |
|-------|-----|-----------|
| 26,93 | 965 | 13        |
| 26,60 | 945 | 13        |
| 25,25 | 848 | 15        |
| 22,70 | 685 | 17        |
| 21,03 | 593 | 19        |
| 19,54 | 507 | 22        |
| 18,09 | 429 | 25        |
| 15,91 | 319 | 31        |
| 13,14 | 200 | 44        |
| 9,84  | 109 | 73        |

## 5. RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

Uma vez com o protótipo montado, foi verificado o funcionamento do controlador variando-se a intensidade da iluminação produzida pela lâmpada que simula a luz natural por meio da fonte de bancada ajustável, indo desde totalmente apagada até o valor de 800 lux (ou um pouco mais) e se registrou a intensidade obtida no plano de trabalho pelo luxímetro. Observou-se também o desligamento sequencial das lâmpadas e o respectivo acendimento, quando se baixou a intensidade da fonte de bancada ajustável de volta até zero. As diferenças observadas no ponto que uma determinada lâmpada acende durante o crescimento da intensidade luminosa natural e o ponto que ela desliga no decaimento desta iluminação, que é denominado de histerese, também podem ser observadas.

Os resultados que foram obtidos a partir dos testes são animadores, pois se conseguiu registrar o funcionamento do controlador conforme apresentado na Figura 4, este gráfico é semelhante ao gráfico da Figura 1 o que comprova o funcionamento do controlador e do algoritmo de controle proposto.

Em termos quantitativos os valores diferiram bastante dos valores esperados, isto se deveu a pouca resolução do conversor analógico digital do microcontrolador Basic Step e da matemática de números inteiros da sua linguagem de programação, também o ambiente da maquete e recursos disponíveis de instrumentação não foram suficientes para se fazer uma boa calibração do sensor, pois os valores alteravam a cada reposicionamento da maquete.

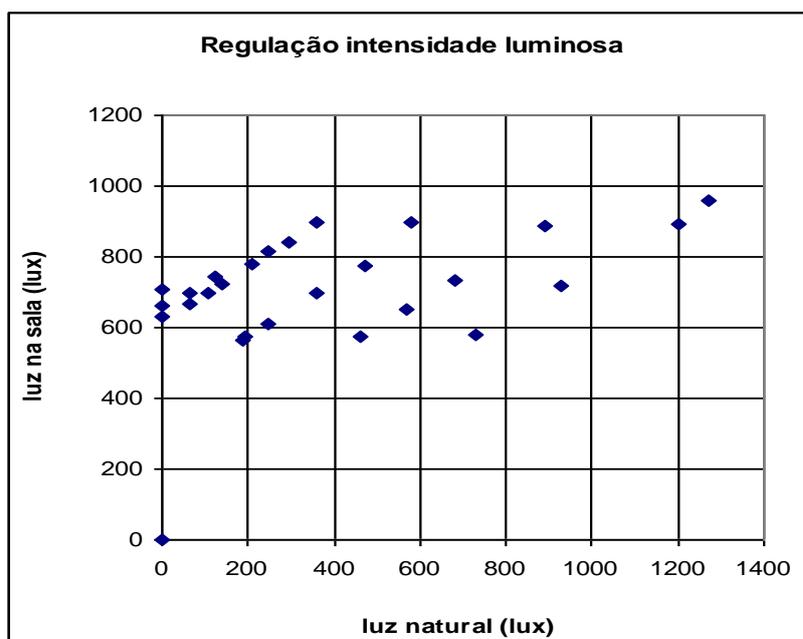


Figura 4: Levantamento experimental da curva de regulação.

Observando-se ainda o aspecto do gráfico da Figura 4, podem-se ver as quatro rampas crescentes características deste tipo de controlador, as linhas verticais não podem ser vistas, pois se trata de comutação de uma rampa para a outra. Percebe-se ainda, que na prática o sistema de controle funcionou com valores um pouco diferente do previsto na teoria, os valores limites nos quais o controlador ligou e desligou as lâmpadas encontraram-se acima dos valores desejado de 500 lux (mínimo) e de 800 lux (máximo).

O microcontrolador BASIC STEP LT, apesar de ter limitações no tamanho de programa e da matemática de número inteiros, possui muitas vantagens, podemos citar como as principais: seu baixo custo e sua fácil utilização, pois seus comandos podem ser facilmente manipulados por qualquer aluno interessado em aprender linguagem de programação.

### 5.1 Dificuldades encontradas

Durante o levantamento da resposta do controlador observamos que em determinado nível de iluminação o mesmo entrava em um estado anormal de funcionamento, num processo de “pisca-pisca”. Esse erro pode ter acontecido por vários motivos, sendo considerados dois: o primeiro seria a imprecisão da calibração, pois os testes foram improvisados numa caixa de papelão e segundo pela limitação do microcontrolador, pois seu espaço de memória é pequeno e ele só trabalha com números inteiros o que dificulta as operações matemáticas, mais apesar desses problemas conseguimos fazer o controlador funcionar mesmo que precariamente, onde se obteve os resultados mostrados, principalmente na Figura 4.

### 5.2 Propostas para futuros trabalhos

Com este trabalho, mostrou-se que é possível construir um controlador de iluminação simples e prático, assim sugerimos que este projeto possa ser melhorado a fim de ser testado em uma sala de um prédio com condições apropriadas. Neste caso o algoritmo deve ser expandido para quatro lâmpadas, que é o número de luminárias normalmente utilizado em salas retangulares de tamanho médio de 25 m<sup>2</sup>, e que pode ser estimada por métodos de cálculo de iluminação geral.

Propomos ainda estudar a possibilidade de utilizar outro microcontrolador com mais recursos e menos erros de leitura do sinal do LDR, possivelmente com o desenvolvimento de um filtro do sinal gerado pelo sensor por meio de um circuito elétrico e/ou por meio de programação.

Observamos ainda que o uso de mais de um sensor LDR e o cálculo do valor médio medido pelos múltiplos sensores melhora o sinal para o controlador e atende a norma NBR 5382 que determina como deve ser feita a verificação da iluminação de interiores. Incluindo ainda um estudo sobre a melhor posição destes sensores.

Caso se venha a usar um display, este deve apresentar o valor da iluminação em lux, ou por um múltiplo proporcional a esta unidade.

É muito interessante também avaliar a economia de energia conseguida por este controlador, possivelmente com o uso de um “data logger”, registrando o consumo de uma sala com o uso do controlador e comparar com outra sala semelhante, sem o controlador. Também pode ser feito na mesma sala com dias alternados de uso do controlador, comparando com dias sem controlador.

## **Agradecimentos**

Agradecemos ao Governo do Pará, Secretaria de Estado de Desenvolvimento, Ciência e Tecnologia – SEDECT e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará - FAPESPA pela bolsa de iniciação científica junior. Agradecemos a A. M. V. Construções e Serviços Ltda. na pessoa do Eng. Eletricista Luiz G. A. Veloso, pelo empréstimo do luxímetro.

## **REFERÊNCIAS**

- Amorim, C. N. D., 2005, Sistemas Inovadores para a Luz Natural, Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II, Università degli Studi di Roma.
- Angnes, D. L., 2003, Introdução ao Microcontrolador Basic STEP, disponível na internet em 16/03/2010, <http://www.radiopoint.com.br/MICROCONTROLADORES/MicrocontroladoresBASICStep.pdf>
- Damasceno, E. M., Corrêa, A. C., 2008, Calibração de um LDR para a medida de intensidade de luz, XIII FEICIPA - Feira de Ciências do Estado do Pará, Belém - PA - 21 a 23 de outubro de 2008.
- NBR 5413:1992 - Iluminância de interiores – procedimento
- NBR 5382 abr 1985 - Verificação da iluminância de interiores - Método de ensaio
- NBR 5461 - Iluminação - Terminologia
- Pietrocola, M., 2003, Prática Interdisciplinar na Formação Disciplinar de Professores de Ciências, Investigações em Ensino de Ciências – V8(2)
- Santos, A. H. M., *et al*, 2006, Conservação de energia-Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações, Eletrobrás/Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

## **DISCUSSION ON ENERGY EFFICIENCY IN TECHNICAL EDUCATION, THROUGH THE CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE OF LIGHTING CONTROLLER**

**Abstract.** *This work was carried out in the guidance period of a junior scientific initiation grant from a junior student of the technical level course in electronics at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pará (IFPA). It, started at the initial stage of development of the student awareness for the importance of the topic of energy efficiency and rational use of energy, because the serious social and environmental problems nowadays require educational projects in this direction, up to the assembly and testing of a prototype of a lighting control of a room, where they also discussed the purpose and principle of operation of electronic components. The technical part of the project was developed step by step, starting from the calibration of the sensor lighting, assembly of an electrical circuit of the controller using a microcontroller "Step Basic", assembly of a model to simulate the environment of a room that uses natural light together with artificial lighting, development of a control algorithm for three lamps and microcontroller programming using the Basic language, performance tests of the controller in the environment model, development of the graphics of the controller regulating function and project report. Although the values obtained for the regulating function of the light level differ from the expected values, due to the precarious material used in the model, the qualitative results obtained by the controller confirmed the success of the proposed control algorithm. The gain in terms of learning by the fellow was found in this report.*

**Key words:** *Lighting, Comfort environmental, Controller, Basic, Energy efficiency.*