

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FUZZY EMBARCADO PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

SOUSA, JERÔNIMO V. P.

*FACEMA – Faculdade de Ciências e Tecnologia do Maranhão*  
*Rua Aarão Reis, 1000 – Centro, Caxias – MA*  
*E-mails: jvianney@ifma.edu.br, jvps.jvps1@gmail.com*

SOUSA, ALDIR S.

*UESPI – Universidade Estadual do Piauí*  
*Rua João Cabral, 2231 – Pirajá, Teresina – PI*  
*E-mails: aldirss@uespi.br*

**Abstract**— This paper describes the development process of a lighting control system that uses concepts of intelligent systems in their modeling. The purpose of this document is to demonstrate the advantages of designing control lighting systems via own approaches to computational intelligence. Its aim is to devise a solution to the sustainable use of artificial lighting in residential environments. We aim also show that to achieve this end modeling a driver through the application of fuzzy logic, ensures the desired success efficiently and effectively.

**Keywords**— Fuzzy Logic; Fuzzy sets; Illumination controls; ON/OFF Controllers; Fuzzy controller.

**Resumo**— Este trabalho descreve o processo de desenvolvimento de um sistema de controle de iluminação que utiliza conceitos de sistemas inteligentes em sua modelagem. O objetivo deste documento é demonstrar as vantagens de se projetar sistemas de controle de luminosidade através de abordagens próprias da inteligência computacional. Sua finalidade é conceber uma solução para o uso sustentável da iluminação artificial em ambientes residenciais. Objetivamos, ainda, mostrar que para a consecução desse fim a modelagem de um controlador através da aplicação da lógica nebulosa, garante o sucesso pretendido de forma eficiente e eficaz.

**Palavras-chave**— Lógica fuzzy; Conjuntos nebulosos; Controle de iluminação; Controlador ON/OFF; Controlador Fuzzy.

### 1 Introdução

Sistemas de automação têm se mostrado ferramentas eficazes ao proporcionar eficiência energética no âmbito residencial. A automação residencial provê vários mecanismos de controle separados em funções específicas, tais como controle de acesso e segurança eletrônica, controle de iluminação, controle de climatização, controle de acionamento de eletrodomésticos, entre outros.

Os sistemas de controle de iluminação constituem a melhor solução para o problema do uso negligente da iluminação artificial no ambiente doméstico. Em (Canato, 2007) descrevem-se algumas formas de implementação comumente encontradas em sistemas de iluminação automatizados. Esses sistemas geralmente usam sensores que enviam sinais para um núcleo de controle que os interpreta como a confirmação da presença de pessoas num dado local, fazendo com que as luminárias do ambiente sejam acionadas logo em seguida.

O consumo de energia pode ser otimizado por sistemas que se utilizem dos dispositivos adequados capazes de gerir os gastos de eletricidade através de funções de regulação de intensidade ao considerar

critérios como presença/ausência, hábitos e horários (Canato, 2007).

Esses sistemas podem retirar do usuário final a preocupação com o gerenciamento do consumo de energia, agindo de forma inteligente para não tornar insuficiente ou exagerado o provimento dos recursos energéticos disponibilizados sob seu controle.

Este trabalho descreve o processo de desenvolvimento de um sistema para controle de iluminação que utiliza um software embarcado escrito a partir de conceitos da lógica fuzzy para demonstrar a eficiência energética conseguida através deste tipo de controle no gerenciamento do consumo de eletricidade.

#### 1.1 Justificativa ao uso da Lógica Fuzzy

O controle de iluminação é o foco deste trabalho, que descreve o processo de desenvolvimento de um sistema embarcado baseado na lógica fuzzy para controle do consumo de eletricidade, consequente redução do desperdício de energia e alinhamento do projeto a objetivos de natureza sustentável.

A lógica fuzzy permite dotar uma máquina da capacidade de classificar valores dentro de determinados conjuntos, considerando sempre o grau de pertinência desses mesmos valores a tais conjuntos.

No caso de problemas de iluminação podemos considerar, por exemplo, um domínio onde seus dois extremos são:  *muito escuro*  e  *muito claro* . Sistemas de controle  *ON/OFF*  trabalham apenas com os estados de totalmente desligado ou totalmente ligado, coincidindo, portanto, esses estados com os extremos da faixa de valores anteriormente citada. Porém, se quiséssemos situar um determinado valor de luminosidade em um grau intermediário entre o  *muito escuro*  e o  *muito claro* , criando uma subdivisão do intervalo em subconjuntos que representassem vários graus de intensidade de iluminação e ainda quiséssemos verificar quanto de escuro ou quanto de claro um determinado valor intermediário tivesse, seria ideal o uso da lógica  *fuzzy* .

Estamos lidando com um grau de inteligência maior em relação a um sistema de controle  *ON/OFF* , pois agora o controlador pode classificar o grau de luminosidade em determinado local em  *muito escuro* ,  *muito claro* ,  *meio escuro* ,  *meio claro* , e assim por diante. O mais importante nisso é que com base na quantidade de escuro ou na quantidade de claro em um ambiente o sistema dotado de um cerne inteligente  *fuzzy*  pode tomar decisões baseadas nos graus de pertinência desses valores a conjuntos que representam a intensidade luminosa num cômodo.

Nos experimentos realizados neste trabalho comparamos o consumo de energia sob o controle de um sistema  *ON/OFF*  com o consumo de energia controlado por um sistema  *fuzzy*  para provar a maior eficiência do controlador  *fuzzy*  em relação ao  *ON/OFF* .

## 2 Controlador Fuzzy para Iluminação

No desenvolvimento do projeto do controle de iluminação utilizamos a lógica nebulosa para concepção de um cerne inteligente para o sistema. Essa unidade é responsável pela decisão sobre que saída deve ser gerada para controle de um circuito de potência.

Diversas metodologias podem ser adotadas para a construção de um sistema de controle de iluminação, diferindo uma da outra, principalmente, quanto à definição de parâmetros a serem tomados como critérios de decisão pelo núcleo de controle. Esses critérios podem ser, por exemplo, a ocupação de um cômodo pelos habitantes de uma casa, horários específicos, os graus de luminosidade detectados fora e dentro do ambiente, etc. A partir dessas informações pode-se modelar um sistema supervisório a ser concebido sobre alguma abordagem pertencente ao contexto da inteligência computacional.

Um sistema de controle de iluminação pode utilizar-se de um controlador  *ON/OFF*  para ativar ou desativar a carga controlada a partir de vários critérios pré-estabelecidos. Como exemplo, podemos citar um sistema dotado de um sensor de presença que ative uma luminária ao perceber a entrada e permanência de uma pessoa em determinado ambiente e a desative ao perceber que não há mais usuários no local. Outro exemplo de sistema baseado em contro-

ladores  *ON/OFF*  é aquele que define um valor de luminância referencial e se utilize de um sensor de luminosidade para sua mensuração, ativando a luminária se a iluminação ambiente estiver acima do valor predefinido e a desativando se estiver abaixo.

A desvantagem de sistemas baseados em controladores  *ON/OFF*  é que eles não são capazes de regular a intensidade de iluminação em valores intermediários entre o totalmente desligado e o totalmente ligado. Ocorre que em muitos casos a quantidade de luz natural ambiente poderia ser aproveitada pelo sistema de iluminação para que apenas a quantidade de luz artificial necessária fosse liberada através de um controle de potência.

Aplicações inteligentes voltadas para o aprendizado do comportamento de uma casa ou de seus habitantes podem constituir a base de um sistema de controle de iluminação, assim como sistemas que abordem o tratamento de contextos que envolvam incerteza, como é o caso da lógica nebulosa (A. M., M., J., 2006).

Num problema de controle de iluminação um dos parâmetros a serem considerados para a modelagem de um controlador  *fuzzy*  é a intensidade luminosa em um ou vários pontos do ambiente. No entanto, outros elementos podem ser adotados como critério na tomada de decisão do sistema para produção da resposta desejada.

Neste trabalho adotamos a intensidade de iluminação no ambiente como único parâmetro, a partir do qual devam ser tomadas todas as decisões do controlador  *fuzzy*  projetado.

### 2.1 Processo de desenvolvimento do controlador fuzzy

O primeiro passo no processo de desenvolvimento do controlador foi definir quais variáveis, físicas ou não, atuantes sobre o ambiente, deveríamos adotar na modelagem do sistema. Embora vários critérios possam ser observados quando da modelagem do controlador, a intensidade luminosa do ambiente é o parâmetro mais direto e intuitivo para esse contexto.

Num controlador há dois elementos pertinentes que podem ser entendidos como primordiais na tarefa de controle, a entrada e a saída. A entrada consiste em algum parâmetro que seja concernente à natureza do problema e que deva ser processado pelo sistema a fim de produzir a saída desejada para o processo controlado. Essa entrada pode ser constituída por vários parâmetros que vão depender da complexidade do problema abordado e do número de variáveis, de naturezas diversas, que façam parte do cenário. Esses parâmetros podem ser físicos ou não. Como exemplo, podemos citar o grau de luminosidade em algum ponto de relevância de um cômodo. Nesse caso estamos diante de uma variável de natureza física. Outro exemplo seria o horário em que determinado usuário costumasse executar certa tarefa rotineira que demandasse algum ajuste específico no estado de uma

das variáveis pertencentes a um contexto específico. Nesse caso, a tarefa rotineira do usuário não se trata de algo fisicamente mensurável através da captação de um sinal elétrico, mas pode influenciar na tomada de decisão de um controlador.

Em (Jin; Ho, 2009) são descritos controladores nebulosos para controle da luminosidade ambiente que usam os métodos *DISO*, *Double Input Simple Output*, e o *SISO*, *Simple Input Simple Output*. Controladores *SISO* possuem apenas uma variável na entrada e uma na saída, enquanto que os do tipo *DISO* possuem duas variáveis na entrada. Em (Jin; Ho, 2009) as variáveis de entrada adotadas são a intensidade luminosa no ambiente e a taxa de variação da luz, com apenas três conjuntos nebulosos cada uma. A mesma estratégia pode ser observada em (Zhang et al., 2005), onde os conjuntos nebulosos *Daytime* e *Night* são definidos para a variável *Lighting* e, assim como em (Jin; Ho, 2009), uma variável referente à taxa de variação da luminosidade, *DeltaL*, com conjuntos *MB*, *MS*, *Zero*, *PS* e *PB*, é adotada.

Em (Stuck, 2006) foram utilizadas duas variáveis de entrada, a iluminação interna e a externa. Como se pode ver, o número de variáveis e de conjuntos nebulosos definidos pode variar de aplicação para aplicação. Neste trabalho optou-se por se projetar um controlador nebuloso do tipo *SISO*, *Simple Input Simple Output*, com uma variável de entrada e uma de saída.

O conceito referente à saída é o outro elemento a partir do qual se pode iniciar o delineamento do esquema a ser adotado na modelagem do controlador. Em controladores que façam parte de sistemas que envolvam hardware a saída do controlador, geralmente, corresponde a um sinal elétrico. Como exemplo, podemos citar a tensão ou a corrente que varie de acordo com o efeito pretendido no funcionamento de um dispositivo ou aparelho, como um ventilador, ou um condicionador de ar.

Considerando esses dois elementos, a entrada e a saída do sistema, adotamos duas variáveis físicas como componentes primordiais na modelagem do controlador *fuzzy*. Uma dessas variáveis foi a intensidade luminosa no ambiente em um dado instante, correspondendo ao parâmetro de entrada para o sistema. Para a saída adotamos a modulação por largura de pulso para controle da alimentação dispensada à lâmpada conectada.

Após essa definição, pudemos passar ao levantamento dos valores referentes aos limites superior e inferior dos universos de discurso dos contextos nebulosos luminosidade e potência de saída.

A intensidade da luz natural que penetra em ambientes fechados pode ser alterada de forma não linear, indefinidamente, por períodos de tempo variáveis. A constante alteração na nebulosidade do céu é um dos principais fatores que influenciam os níveis de luz natural no ambiente. Assim, precisamos registrar esses níveis para que seja possível a identificação de seus limites inferior e superior.

Para que isso pudesse ser levantado, procedeu-se à construção de um circuito para a leitura da intensi-

dade luminosa. Optou-se por se utilizar uma plataforma de prototipagem eletrônica microcontrolada, no caso, a placa *Arduino*. *Arduino* é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto baseada em hardware e software, flexível e fácil de usar. A placa é capaz de perceber o ambiente à sua volta pela recepção de dados de uma variedade de sensores em sua entrada e de afeta-lo por meio do controle de luzes, motores e outros atuadores ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

Projetamos e construímos um circuito sensor utilizando um foto-resistor *LDR* e o *Arduino*. O *LDR*, *Light Dependent Resistor*, é um dispositivo semicondutor de dois terminais, cuja resistência varia de forma linear à medida que a intensidade de luz incidente sobre sua superfície se altera. Quando os fótons possuem energia suficiente para romper as ligações que prendem os elétrons do material do *LDR* estes se tornam livres para fluir pelo circuito ([www.gta.ufrj.br/grad/01\\_1/contador555/ldr.htm](http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm)). Isso significa dizer que quanto maior o nível de luminosidade sobre o *LDR* menor será sua resistência elétrica.

O *Arduino* possui uma porta serial para comunicação com dispositivos através de um pino para recebimento de dados e outro para transferência. Para a conexão direta com um computador, a placa utiliza a porta USB para estabelecimento de comunicação ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

O circuito sensor utilizou o envio de dados seriais pela porta USB de um PC. Isso possibilitou o registro e visualização dos dados referentes à variação da luz natural no ambiente. O *Arduino* possui um ambiente de desenvolvimento de aplicações que embute uma ferramenta para leitura e escrita de dados seriais, o *Serial Monitor* (McRoberts, 2011). Através do *Serial Monitor* foi possível visualizar os dados coletados pelo sensor.

A placa *Arduino* trabalha com sensores em pinos especializados na leitura de sinais analógicos. Esses sinais podem ter sua tensão variando numa faixa de 0 a 5v que, por meio de um conversor analógico-digital de 10 bits de resolução, é mapeada para uma faixa de 0 a 1023 unidades, onde cada uma corresponde a 0,49mV de tensão ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

Embora na maioria dos trabalhos relacionados, como em (Jin; Ho, 2009), (Zhang et al., 2005), (Stuck, 2006), por exemplo, se use o *lux*, que é a unidade de medida de luminosidade, na modelagem do controlador *fuzzy*, neste projeto não trabalhamos com o *lux* como unidade de medida para a variável de entrada. Ao invés disso, adotamos apenas os valores resultantes do mapeamento realizado pelo *Arduino* a partir da tensão detectada no pino utilizado pelo sensor *LDR*. Isso não resultou em nenhuma perda ou desvantagem ao sistema, visto que nos preocupamos em coletar os valores retornados pelo sensor *LDR* que correspondessem a uma faixa de luminosidade que vai do *totalmente escuro* ao *muito claro*. Sendo que o *muito claro* a que nos referimos aqui foi o valor de luminosidade máximo verificável em um ambiente iluminado tanto com a luz proveniente de raios

solares como de luminárias, que tornava possível a utilização do ambiente com funcionalidade visual. Assim, os valores de luminosidade atingidos pelas cargas controladas pelo sistema *fuzzy*, no caso as lâmpadas, devem variar dentro desta faixa, sendo compensadas pela luminosidade dos raios solares quando for justificado que tais luminárias sejam ajustadas para estar abaixo de sua potência máxima, o que conservará a capacidade de utilização do ambiente iluminado.

A Figura 1, abaixo, corresponde ao esquema do circuito projetado para leitura da intensidade luminosa por meio do *LDR*.

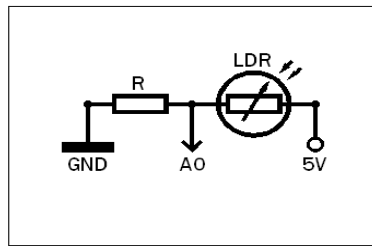


Figura 1. Circuito de leitura da intensidade luminosa

Este circuito, como se pode notar na figura acima, é composto pelo sensor *LDR* e uma resistência *R* para adequação da corrente ao circuito. O circuito é alimentado pelo pino da placa *Arduino*, responsável por prover uma tensão de 5v a circuitos externos. *AO* refere-se a um dos pinos analógicos do *Arduino*. Esse pino capta os sinais provenientes do sensor de luminosidade para processamento pelo controlador.

Durante a coleta o circuito sensor foi deixado funcionando e registrando os dados referentes aos níveis de luminosidade por 24 horas. Após o processo de captação desses níveis verificamos quais deles correspondiam aos limites superior e inferior da iluminação natural. Tomou-se cuidado para que esse procedimento fosse realizado num dia ensolarado e com baixa nebulosidade, para garantia de que o limite superior encontrado estivesse o mais próximo possível do maior valor de luminosidade real captável no ambiente, em termos de luz natural.

Com a detecção dos níveis de iluminação no ambiente e seu devido registro, passou-se à modelagem dos conjuntos nebulosos do contexto luminosidade. Assim, definimos uma variável linguística nomeada *Iluminação*, com os limites, inferior e superior, de seu universo de discurso coincidindo com os valores encontrados no experimento descrito anteriormente.

Os conjuntos nebulosos definidos para a variável *Iluminação* foram: *ME*, *ES*, *NM*, *CL* e *MC*, descritos, com seus respectivos universos de discurso, na Tabela 1 e Figura 2, abaixo.

Luminosidade do Ambiente(x)			
Conjunto	Rótulo	Universo de discurso	
Muito Escuro	ME	$x < 200$	
Escuro	ES	0	400
Normal	NM	200	600
Claro	CL	400	800
Muito Claro	MC	$x > 800$	

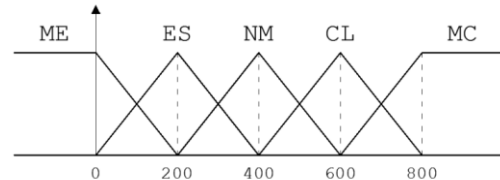


Figura 2. Conjuntos nebulosos definidos para a variável *Iluminação*

Com os conjuntos correspondentes à entrada do sistema definidos, passou-se à definição dos conjuntos nebulosos do contexto de saída do controlador. Levando-se em consideração que a carga a ser controlada trata-se de uma luminária, fica claro que o contexto concernente à variável linguística de saída é a potência elétrica.

Para definição dos limites superior e inferior do universo de discurso da variável referente à potência elétrica levaram-se em consideração os valores, mínimo e máximo, aceitáveis para regulação da largura de pulso no *Arduino*. Para a modulação da largura de pulso, *PWM*, ou seja, do tempo em que o sinal deve se manter em 5v, durante um ciclo do período regular, a placa *Arduino* aceita valores entre 0 e 255 ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

O *Arduino* possui uma função chamada *analogWrite()* para geração de sinais por *PWM* ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)) e simulação de sinais analógicos em circuitos externos ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)).

A Figura 3 mostra a faixa de valores aceita como parâmetro da função *analogWrite()* do *Arduino* e a porcentagem do cliço a que corresponde o tempo em que o sinal se encontra em nível alto.

Tabela 1. Conjuntos nebulosos do contexto *Iluminação*.

Luminosidade do Ambiente(x)		
Conjunto	Rótulo	Universo de discurso

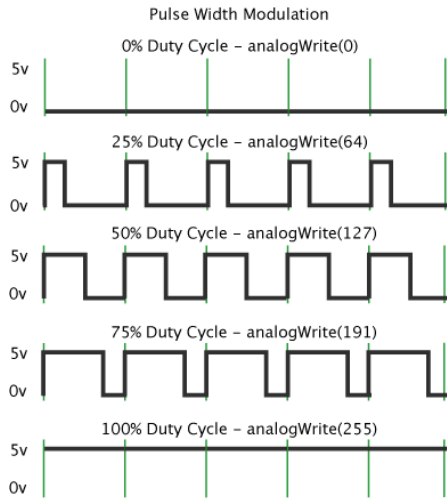


Figura 3. Detalhe da modulação por largura de pulso, PWM, da placa *Arduino*.

Fonte: [www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM](http://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM).

Os conjuntos nebulosos definidos para a variável *Potência* foram: *MN*, *BX*, *NM*, *AL* e *MX*, descritos, com seus respectivos universos de discurso na Tabela 2 e a Figura 4, abaixo.

Tabela 2. Conjuntos nebulosos do contexto *Potência*.

Potência			
Conjunto	Rótulo	Universo de discurso	
Mínima	MN	-63.75	63.75
Baixa	BX	0	127.5
Normal	NM	63.75	191.25
Alta	AL	127.5	255
Muito Alta	MX	191.25	318.75

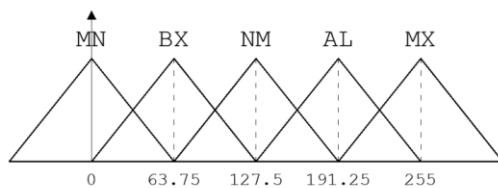


Figura 4. Conjuntos nebulosos da variável *Potência*.

Os controladores nebulosos *SISO* caracterizam-se por possuírem apenas uma variável de entrada. No controlador projetado definimos a variável *Iluminação*, já mencionada, como a variável nebulosa correspondente à entrada e a variável *Potência* referente à saída.

Os sistemas *fuzzy* são capazes de lidar com processos com alto grau de complexidade e que são representados por informações lingüísticas. Esses sistemas baseiam-se em regras do tipo "*se < condição > então < ação >*", apoiadas pela teoria dos conjuntos *fuzzy* e pela lógica *fuzzy*, que lhes fornecem a base matemática necessária para lidar com informações de cunho qualitativo (Sousa, 2013).

As regras *fuzzy* fazem parte de um importante componente que constitui o cerne de controle do sistema, a base de regras. A base de regras é composta por regras lingüísticas que determinam as políticas de estratégia para a tomada de decisão. A base de regras realiza o mapeamento do domínio da entrada para o domínio da saída, sendo determinante para a geração dos resultados produzidos pelo sistema *fuzzy* (Sousa, 2013).

Com os conjuntos *fuzzy* definidos por suas funções de pertinência para fuzzificação de entradas quantitativas as regras *fuzzy* podem ser utilizadas para tratamento da entrada e realização da inferência *fuzzy*.

A inferência *fuzzy* é responsável por avaliar as variáveis de entrada, através da aplicação de regras de produção lingüísticas contidas na base de regras, a fim de se obter o valor de saída *fuzzy*. Assim, o valor de saída *fuzzy* é uma função da base de regras especificada (Sousa, 2013).

Como o controlador desenvolvido neste trabalho é do tipo *SISO*, as regras *fuzzy* definidas para seu conjunto de regras utiliza apenas uma variável de entrada, no antecedente, e uma variável de saída, no consequente.

Abaixo, mostramos a tabela de regras da base de conhecimento do controlador, Tabela 3:

Tabela 3. Conjunto de regras *fuzzy*

x				
ME	ES	NM	CL	MC
MX	AL	NM	BX	MN

## 2.2 Circuito do Protótipo

Para realização dos testes do controlador, foi construído um protótipo em escala reduzida, onde foram acopladas duas pequenas lâmpadas incandescentes, do tipo foquito, comumente utilizadas em lanternas. Cada uma dessas lâmpadas, *L1* e *L2*, conforme a Figura 5, foram alimentadas por conjuntos de pilhas distintos, *B1* e *B2*, de 6v, cada um. Além desses componentes, percebem-se na Figura 5 dois transistores, *Q1* e *Q2*, utilizados no controle das lâmpadas, alguns resistores para adequação da corrente e divisão de tensão, *R1*, *R2*, *R3*, *R4*, *R5*, *R6* e *R7* e um sensor *LDR*, conectado a um dos pinos analógicos da placa, *A0*.

Pode-se notar, também, na Figura 5, a utilização de alguns pinos digitais do *Arduino*, rotulados por *D8* e *D9*, para mensuração dos níveis de tensão dos conjuntos de pilhas e, *D10* e *D11*, para controle das tensões de base dos transistores *Q1* e *Q2*.

Cada uma das lâmpadas são controladas por controladores embutidos no *Arduino*, sendo um do tipo *ON/OFF* e o outro do tipo *fuzzy*.

O controlador *ON/OFF* foi projetado para acionar a primeira lâmpada, *L1*, assim que a placa recebesse o valor 300, através de uma função de leitura sobre o

pino A0 do *Arduino* (Sensor). Já, o controlador *fuzzy* foi projetado para controlar a tensão aplicada à base do transistor *Q2*, controlando a intensidade da lâmpada *L2*, através de um sinal regulado de acordo com o seu conjunto de regras. O sinal aplicado à base do transistor *Q2* varia de acordo com a saída *fuzzy*, criando um efeito de enfraquecimento gradual do brilho da lâmpada à medida que o sensor detecta um maior nível de luz no ambiente e aumentando o seu brilho quando ocorre o contrário. A Figura 5 mostra o circuito projetado.

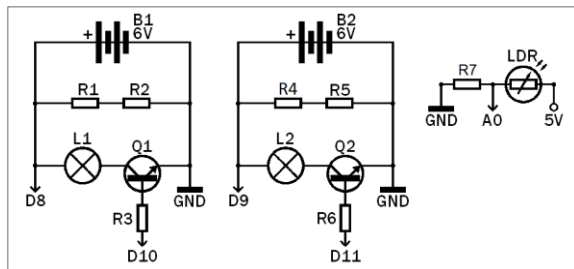


Figura 5. Esquema do circuito do protótipo construído.

### 3 Resultados

Para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado, far-se-ia necessário que se demonstrasse a eficiência do controlador nebuloso em proporcionar a redução do desperdício de energia elétrica. Isso significa que esse controle seja capaz de ocasionar um consumo racionalizado de eletricidade sem, contudo, onerar o usuário final quanto ao atendimento de suas necessidades. Assim, o sucesso do trabalho realizado se traduziria no alcance de características sustentáveis para o sistema desenvolvido.

Foram realizados dois experimentos, aqui nomeados de *Teste 01* e *Teste 02*. O primeiro, *Teste 01*, foi realizado com total ausência de luz solar e o *Teste 02* foi realizado a partir das primeiras horas do amanhecer do dia.

Os experimentos realizados retornaram os resultados esperados. A lâmpada alimentada pelo grupo de pilhas *B1* e com consumo controlado pelo controlador *ON/OFF* obteve um nível maior de desperdício de energia, como é de se esperar desse tipo de controle em relação ao *fuzzy*. Controladores *ON/OFF*, como o próprio nome os descreve, só possuem dois estados, a saber, o de ligado e o de desligado. Quando os atuadores controlados por esse tipo de controle se encontram acionados ou em estado de condução a sua potência é utilizada em seu máximo valor.

O controlador nebuloso de iluminação projetado respondeu mais eficientemente que o controlador *ON/OFF*, em termos de economia de energia. A Tabela 4 mostra o tempo que os conjuntos de pilha, *B1* e *B2*, passaram até se descarregarem, usando os dois sistemas.

Os experimentos foram finalizados quando todas as lâmpadas encontravam-se apagadas por consequência do descarregamento de seus respectivos conjuntos de pilhas. Nesse caso, o último conjunto de pilhas a se descarregar foi o *B2*, que alimentava o fofoito gerido pelo controlador *fuzzy*.

No início do *Teste 01* a luminosidade registrada era de 350 e a saída *fuzzy* gerada para a potência da lâmpada era 147.78. O que situa esse grau de luminosidade entre Escuro e Normal. Estando mais normal que escuro. Neste experimento o conjunto de pilhas *B2* durou 61,5% a mais que o conjunto de pilhas *B1*, mostrando maior eficiência do controlador *fuzzy* em relação ao controlador *ON/OFF*.

No segundo teste o conjunto de pilhas *B2* durou 159% a mais que o conjunto *B1*, mostrando novamente a maior eficiência do controlador *fuzzy* em relação ao *ON/OFF*. O fato de o *Teste 02* se iniciar já ao romper do dia, por volta das 03h00min da manhã, fez com que, à medida que a luz natural se intensificasse, a luminosidade do ambiente começasse a atingir níveis maiores. Quanto mais luz natural no ambiente, menor passava a ser a potência utilizada na lâmpada gerida pelo controlador *fuzzy*, aumentando ao final do experimento o tempo de duração de *B2* em relação ao que o este alcançara no *Teste 01*.

Ao final do segundo experimento, quando o conjunto de pilhas *B2* se descarregara, o sensor *LDR* marcava o valor de 425, mostrando que o ambiente já se encontrava mais claro do que no início do teste.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos.

Tabela 4. Testes realizados.

Teste	Duração do conjunto pilhas com o controlador ON/OFF	Duração do conjunto pilhas com o controlador fuzzy
01	8100s	12900s
02	8160s	21120s

### 4 Conclusão

O protótipo testado mostrou que se atingiu o sucesso pretendido ao responder de forma eficiente ante os experimentos realizados.

O sistema desenvolvido neste trabalho respondeu mais eficientemente que os controles do tipo *ON/OFF*, do ponto de vista energético, mostrando-se mais adequado que estes para aplicações de otimização do uso da eletricidade.

Tem-se, assim, um sistema capaz de economizar energia elétrica e que, se adaptado para uso em sistemas de automação residencial, contribui para a maior durabilidade das luminárias envolvidas no processo, o que por sua vez atinge alguns dos objetivos relacionados com a sustentabilidade.

Como o software embarcado roda em hardware sem que este tenha de ser operado ou manuseado por usuários humanos, o sistema torna-se apto a ser apli-

cado em projetos de hardware mais robustos visando ao controle de iluminação em sistemas de automação residencial.

Entende-se, contudo, que para operação em ambientes de maior escala, para controle de luminárias sob tensões usuais em contextos domésticos como 110 ou 220v, o hardware e o software precisam ser adaptados para uso em sistemas de automação residencial, o que pode ser seguramente realizado através de trabalhos estendidos a partir dos resultados alcançados com este trabalho.

### Referências Bibliográficas

- Jin, Mou-Lin and Ho, Ming –Chun, “Labview-based fuzzy controller design of a lighting control system,” *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 17, pp. 116-121, 2009.
- Zhang, Chenghui; Cui, Naxin; Zhong, Maiying; Cheng, Zhaolin; Application of Fuzzy Decision in Lighting Control of Cities, 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005, Seville, Spain, December 2005, pp. 4100-4104.
- A. M., Vainio; M., Valtonen; e J., Vanhala. 2006. Learning and adaptive fuzzy control system for smart home. In: Mana, A. et al. (eds.) *Developing Ambient Intelligence, The First International Conference on Ambient Intelligence Developments*. Setembro, 2006. Sophia Antipolis, France. pp. 28-47.
- Stuck, Bruno Moreno, Controle do conforto luminoso e térmico, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.
- Disponível em:  
<[http://www.gta.ufrj.br/grad/01\\_1/contador555/ldr.htm](http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/contador555/ldr.htm)> Acessado em: 01 de maio de 2014.
- Canato, Décio Albino, Utilização de Conceitos de Integração de Sistemas Direcionados à Domótica – Estudo de Caso para Automação Residencial, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- Sousa, Aldir Silva, A Proposal for Route Classification in Wireless Sensor Networks Based on Fuzzy Inference System and Ant Colony Optimization, SAC’ 13, March, 2013, Coimbra, Portugal.
- Disponível em: <[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)> Acessado em: 19 de maio de 2013.
- McRoberts, Michael, *Arduino Básico*, tradução: Rafael Zanolli. 1. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2011.