

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**Automação residencial para conservação e eficiência energética
por meio de técnicas de Inteligência artificial**

Jheimmys Goulart Toggweiler
Leandro da Silva Marques

Florianópolis - SC

2017/2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA
CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

**Automação residencial para conservação e eficiência energética
por meio de técnicas de Inteligência artificial**

Jheimmys Goulart Toggweiler
Leandro da Silva Marques

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos requisitos
para obtenção do grau de Bacharel em
Sistemas de Informação pela Universidade
Federal de Santa Catarina.

Florianópolis - SC
2017/2

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Goulart Toggweiler, Jheimmys

Automação residencial para conservação e eficiência energética por meio de técnicas de inteligência artificial / Jheimmys Goulart Toggweiler, Leandro da Silva Marques ; orientador, Elder Rizzon Santos, coorientadora, Susan Thiessen , 2017

121 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Sistema de Informação, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Sistema de Informação. 2. Automação residencial. 3. Eficiência energética. 4. Lógica Fuzzy. I. Goulart Toggweiler, Jheimmys; da Silva Marques, Leandro. II. Rizzon Santos, Elder . III. Thiessen , Susan. IV. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Sistema de Informação. V. Título.

Jheimmys Goulart Toggweiler
Leandro da Silva Marques

**Automação residencial para conservação e eficiência energética
por meio de técnicas de Inteligência artificial**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof. Dr. Elder Rizzon Santos
Orientador

Susan Thiessen
Coorientador(a):

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Azambuja Silveira

Prof. Dr. João Candido Lima Dovicchi

Agradecimentos

Primeiramente, agradecemos nosso orientador Prof. Elder Rizzon dos Santos, por nos apoiar e fornecer todo o suporte necessário para realização desse projeto. Sem sua orientação esse projeto não teria se concretizado.

Agradecemos também, a nossa coorientadora Susan Thiessen, por nos auxiliar no desenvolvimento e realizar as correções necessárias para tornar o projeto o mais assertivo possível.

Nossas considerações também à banca que foi responsável pela avaliação de nosso TCC, Prof. Ricardo Azambuja e Prof. João de Lima Dovicchi. Obrigado pelos apontamentos.

Por fim, agradecemos nossos familiares e amigos que nos ajudaram e apoiaram nos momentos mais difíceis durante a construção desse projeto.

Muito obrigado a todos.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 Método de Pesquisa.....	17
2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	18
2.1 Tecnologias aplicadas a eficiência energética.....	23
2.1.1 Casa Inteligente.....	23
2.1.2 Rede Inteligente.....	24
2.1.3 Medidor Inteligente.....	25
2.2 Inteligência Artificial Conexionista.....	27
2.2.1 Sistemas difusos.....	27
2.2.2 Neuro-Fuzzy.....	33
2.3 Componentes Físicos.....	34
2.3.1 Arduino.....	34
2.3.2 Sensores.....	37
2.4 Conclusão.....	40
3. TRABALHOS CORRELATOS	41
3.1 Trabalho 1.....	41
3.2 Trabalho 2.....	44
3.3 Trabalho 3.....	45
3.4 Tabela Comparativa.....	46
4. DESENVOLVIMENTO	48
4.1 Visão Geral do Sistema.....	48
4.2 Controlador Nebuloso (Fuzzy).....	52
4.3 Componentes do hardware controlador.....	62

4.3.1 Sensor de Temperatura/umidade.....	63
4.3.2 Sensor de Luminosidade.....	64
4.3.3 Sensor de corrente elétrica.....	66
4.3.4 Sensor de Presença/Movimento.....	68
4.3.5 Dimmer.....	70
4.3.6 Led Infravermelho Emissor.....	72
4.3.7 Led Infravermelho Receptor.....	73
5. TESTES.....	74
5.1 Condicionador de ar Split convencional.....	76
5.2 Condicionador de ar Inverter.....	77
5.3 Controle Inteligente da Iluminação.....	78
6. RESULTADOS.....	80
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE(S).....	89

Lista de Figuras

Figura 1 – Consumos setoriais de energia elétrica referentes a 2005.....	17
Figura 2 – Consumo de eletricidade das residências brasileiras.....	18
Figura 3 – Participação dos eletrodomésticos no consumo de eletricidade.....	19
Figura 4 – Variável 'iluminação' definida com três funções de associaçã.....	27
Figura 5 – Etapas do raciocínio Fuzzy.....	27
Figura 6 – Número fuzzy Triangular $A = (a^1, a^2, a^3)$	28
Figura 7 – Função Trapezoidal.....	29
Figura 8 – Exemplo de função Gaussiana.....	30
Figura 9 – Modelo de Mamdani	30
Figura 10 – Exemplo de regra do método de Mamdani.....	30
Figura 11 – Modelos de Arduinos.....	34
Figura 12 – IDE Arduino.	35
Figura 13 – Utilização da Protoboard.....	36
Figura 14 – Um exemplo de sinal analógico.....	37
Figura 15 – Comparação entre sinal analógico e digital.....	38
Figura 16 – Exemplo de alguns tipos de sensores.....	38
Figura 17 – Faixas de variação dos tempos.....	41
Figura 18 – Conversão dos valores lógicos em linguísticos.....	41
Figura 19 – Aplicação da regra geral.....	42
Figura 20 – Tela inicial do sistema.....	49
Figura 21 – Tela de configuração do sistema.....	49
Figura 22 – Conjuntos nebulosos definidos para a variável “Luminosidade”.....	51
Figura 23 – Conjuntos nebulosos definidos para a variável “periodo_atual”.....	52
Figura 24 – Conjuntos definidos para a variável regula_intensidade_luz.....	52
Figura 25 – Regras para a geração de ações na variável regula_intensidade_luz...53	
Figura 26 – Conjuntos nebulosos definidos para a variável “temperatura”.....	56
Figura 27 – Conjuntos nebulosos definidos para a variável “umidade”.....	57
Figura 28 – Conjuntos nebulosos definidos para a variável “estacao do ano”.....	57
Figura 29 – Conjuntos nebulosos definidos para a variável “consumo”.....	58
Figura 30 – Conjuntos nebulosos definidos para a variável de saída controle_ar...59	
Figura 31 – Regras para a geração de uma ação na variável “controle do ar”.....	60
Figura 32 – Protótipo desenvolvido.....	60
Figura 33 – Sensor de Temperatura/Umidade.....	61
Figura 34 – Circuito sensor de Temperatura/Umidade.....	62
Figura 35 – Sensor de Luminosidade.....	63
Figura 36 – Circuito para o sensor LDR.....	63
Figura 37 – Sensor de Corrente.....	65
Figura 38 – Circuito para o sensor de corrente.....	65
Figura 39 – Sensor de movimento/presença.....	67
Figura 40 – Circuito sensor de movimento/presença.....	67
Figura 41 – Módulo Dimmer.....	69
Figura 42 – Arduino + Módulo Dimmer.....	69
Figura 43 – LED Emissor Infravermelho IR 5mm.....	71
Figura 44 – LED receptor Infravermelho IR KY-022.....	71

Lista de Quadros

Quadro 1 - Diagrama geral do controlador.....	47
---	----

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparativo entre trabalhos correlatos e esse projeto.....	45
Tabela 2 - Relação entre Temperatura e Umidade com o conforto térmico.....	55
Tabela 3 - Diferenças entre o condicionador Inverter e o Tradicional.....	73
Tabela 4 - Comparação entre o brilho emitido pelas lâmpadas com a economia de energia elétrica.....	77
Tabela 5 - Resultados finais obtidos para o controle do condicionador de ar.....	80

Lista de Abreviações

IA	Inteligência Artificial
API	Application Programming Interface
kWh	kilowatt-hora
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
REI	Rede Elétrica Inteligente
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
LDR	Light Dependent Resistor (Luminosidade)
IDE	Integrated Development Environment
GCC	GNU Compiler Collection
ARM	Advanced RISC Machine
GPU	graphics processing unit
RAM	Random Access Memory
GPIO	General Purpose Input/Output
TS	Takagi-Sugeno
ANFIS	Adaptative Neural Fuzzy Inference System
COG	Center of Gravity
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ITH	Índice de temperatura-umidade
BTUs	British Thermal Unit

Resumo

Este projeto visa desenvolver um sistema para automatizar o uso dos recursos energéticos pelos equipamentos elétricos residenciais. Para isso, foram utilizados o condicionador de ar e a lâmpada LED como base para aplicação de uma técnica de Inteligência Artificial denominada lógica nebulosa, internacionalmente conhecida como lógica “Fuzzy”. A partir de um conjunto inicial de dados e, posteriormente, do reconhecimento de padrões, torna-se possível a realização das tomadas de decisões por meio da lógica nebulosa, que permite a adaptação do sistema aos costumes dos usuários. Em vista disso, a partir da utilização da lógica nebulosa é viável otimizar a eficiência energética dos equipamentos e diminuir o consumo de energia elétrica, sem realizar mudanças radicais na rotina do usuário. O sistema executa o gerenciamento automático do condicionador de ar a partir dos horários regulares de reconhecimento de presença, bem como pelas ações que os usuários normalmente realizam no condicionador de ar. Assim, o sistema seleciona a temperatura “ideal” para o conforto térmico e aciona o condicionador de ar com antecedência à chegada do usuário à residência, visando o aumento da eficiência energética do equipamento e a diminuição no consumo de energia elétrica. Além disso, também é objetivo do sistema realizar o controle da intensidade da luz emitida por lâmpadas led dimerizáveis, tendo como base de ajustamento a intensidade da luminosidade do ambiente, possibilitando a diminuição do consumo energético sem que a mudança se faça perceptível para os usuários. Por fim, o sistema realiza o monitoramento do consumo de energia elétrica dos dispositivos com base na leitura da corrente elétrica, medida em kWh (*kilowatt-hora*), gerenciado a partir de um servidor local, que recebe os dados dos sensores instalados no protótipo desenvolvido, e realiza o devido tratamento dos dados para que se transformem em informações úteis para seu funcionamento.

Palavras-chave: inteligência artificial; lógica nebulosa; automação residencial; eficiência energética.

Abstract

This project aims at a system to automate the use of energy resources of the residential electrical equipments. For this, it is used an the air conditioner and a LED lamp as the basis of our tests, applying an Artificial Intelligence technique called nebulous logic, internationally known as Fuzzy Logic. From an initial set of data and, later, the recognition of standards, it will be possible to make decision-making through nebulous logic, which allows the adaptation of the system to the customs of the users. In view of this, from the use of nebulous logic it will be feasible to optimize the energy efficiency of the equipment and reduce the consumption of electric energy, without making radical changes in the routine of the user. The system will perform automatic management of the air conditioner from the regular presence recognition schedules, as well as the actions that the users normally perform in the air conditioner. Thus, the system will select the "ideal" temperature for thermal comfort and will trigger the air conditioner in advance of the user's arrival at the residence, aiming at increasing the energy efficiency of the equipment and reducing the consumption of electric energy. In addition, it is also the objective of the system to control the intensity of the light emitted by dimmable LED lamps, based on the intensity of the ambient light, enabling the energy consumption to be reduced without making the change perceptible to the users. Finally, the system will monitor the electricity consumption of the devices based on the reading of the electric current, measured in kWh (kilowatt-hours), will be managed from a local server, which will receive the data of the sensors installed in the prototype developed, and will perform due treatment of the data to become useful information for it's operation.

Key-words: artificial intelligence; nebulous logic; home automation; energy efficiency.

1. Introdução

No momento presente a energia é um insumo praticamente indispensável na sociedade contemporânea, por meio dela foi possível avançar na automatização de processos em diversas áreas do conhecimento. No Brasil, a energia elétrica teve seu primeiro marco em 1879 quando Dom Pedro II permitiu a Thomaz Edison (inventor, cientista e empresário), utilizar aparelhos elétricos para realizar a iluminação pública, desde então, iniciou-se uma série de eventos como a criação de hidrelétricas e estações para produção e distribuição de energia no país. A partir disso, permitiu-se a criação de novos dispositivos que utilizam a eletricidade como base de seu funcionamento e assim, com a crescente popularização de energia no país chegou-se ao estado atual, centenas de dispositivos que dependem de energia elétrica para seu funcionamento.

Constantemente, as cidades utilizam a energia elétrica para iluminação pública e privada, no entanto, com a desenfreada utilização da mesma em poucos anos poderá ocasionar um grave problema de abastecimento, pois nunca houve ao longo do tempo, um planejamento efetivo baseado no uso dos recursos energéticos dos equipamentos e como estes são utilizados, nem uma política de conscientização sobre o uso da energia. Nesse sentido, o projeto visa contribuir com técnicas para melhorar a eficiência energética e contribuir na disseminação de uma cultura que compreenda que os recursos energéticos são limitados.

Esse projeto busca, ainda, maneiras de gerenciar esses recursos de forma automatizada e inteligente. Atualmente, a automação é baseada na execução de uma ação de acordo com a ocorrência de um determinado evento, não adequando-se em contextos que não possuem claramente definidas as variáveis dependentes para a tomada de uma decisão. Sendo assim, foi identificada a necessidade de desenvolver um modelo mais 'inteligente' que permitisse realizar associações com outras informações de forma que não fosse necessário prever todas as possibilidades de imediato.

Segundo Luger (2014, p. 1), a Inteligência artificial pode ser definida como o ramo da ciência da computação que se ocupa da automação do comportamento

inteligente e iniciou-se com filósofos clássicos que tentaram descrever através de símbolos o funcionamento do pensamento humano. A partir disso, esse trabalho resultou na invenção do computador digital programável, projeto que se baseia na essência abstrata da razão matemática que em 1940, inspirou empresas e governos a investirem na área de IA, o que trouxe tanto resultados positivos quanto frustrantes para os idealizadores. No momento atual, o cenário é considerado um pouco melhor, uma vez que diversos problemas considerados sem solução antigamente, estão sendo resolvidos através da alta performance e capacidade dos hardwares e softwares presentes hoje no mercado.

Existem, hoje, diversos algoritmos utilizados para implementar uma inteligência artificial e assim como em uma inteligência humana, normalmente dispõe-se de algumas informações de entrada para realizar uma tomada de decisão. Porém, antes de tudo, é necessário ter como premissa uma base que relacione a informação com uma possível ação ou, ainda, coletar informações para tentar correlacionar com novas informações. Em vista disso, com uma IA não é diferente, é indispensável especificar o que ela deve aprender e em qual contexto ela deve ser capaz de tomar suas próprias decisões.

Nesse projeto, foi utilizada uma técnica conhecida como *lógica nebulosa* (fuzzy), que diferentemente da Lógica Booleana (clássica) que admite apenas valores booleanos, ou seja, verdadeiro ou falso, a lógica difusa permite trabalhar com valores que variam entre 0 e 1. Sendo assim, uma pertinência de 0,5 pode representar “meio verdade”, logo 0,9 e 0,1, representam “quase verdade” e “quase falso”, respectivamente (SILVA, 2005). Com isso, existe a possibilidade de classificar os dados da melhor forma possível e reconhecer possíveis padrões, a partir dos dados coletados e tratados pelos sensores, como por exemplo, pode-se reconhecer como padrão que os dados de temperatura do líquido coletados na ‘madrugada’ são na maioria das vezes classificados como “muito fria”. Dessa forma, busca-se nesse projeto utilizar a lógica nebulosa para auxiliar no processo de “aprendizagem” da IA.

Por fim, foi desenvolvido nesse projeto uma solução inteligente para realizar a otimização da utilização dos recursos energéticos, pois entende-se que a partir de uma cultura que saiba utilizar a energia elétrica com responsabilidade e sem gerar impacto direto no “dia-a-dia” do usuário, pode-se obter um ganho muito positivo na

sociedade. Assim, permite-se amenizar os problemas de abastecimento principalmente em épocas de maior demanda, além de propiciar às pessoas a possuírem um controle maior e mais preciso sobre seus gastos, bem como uma conscientização sobre o desperdício de energia elétrica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema que potencialize a conservação e a eficiência energética por meio da automação dos equipamentos elétricos e da utilização de técnicas de inteligência artificial.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Demonstrar a importância da economia de energia elétrica em residências, apontando seus benefícios e os desafios para sua efetivação;
2. Estudar e analisar tecnologias, técnicas, modelos e teorias existentes que, de alguma forma, buscam promover a conservação e a eficiência energética residencial;
3. Analisar quais técnicas de IA são mais adequadas para potencializar a eficiência energética;
4. Propor um modelo para promover o aumento da eficiência energética em equipamentos utilizados em residências, utilizando-se de sensores, controladores e técnicas de IA;
5. Realizar estudo de caso para testar o modelo de sistema proposto quanto a sua eficiência e capacidade de atingir os objetivos elencados.

1.2 Método de Pesquisa

- Realizar um estudo referente as tecnologias existentes no que diz respeito ao gerenciamento dos equipamentos elétricos no âmbito da automação residencial;
- Realizar um estudo referente as bibliotecas (APIs) existentes, que podem colaborar para o desenvolvimento do projeto, como por exemplo, bibliotecas fuzzy;
- Estudar pesquisas realizadas na área de eficiência energética em residências;
- Estudar o funcionamento e limitações dos sensores que foram conectados ao hardware, utilizando um Arduino como placa base para coleta dos dados dos sensores;
- Estudar boas formas de desenvolvimento de protótipos utilizando o Arduino como base.

2. Eficiência Energética

A utilização de energia tem se intensificado desde os primórdios da Revolução Industrial e é essencial para o correto funcionamento dos mais diversos setores e atividades da sociedade. Sendo assim, a maioria dos equipamentos de edificações residenciais, comerciais e públicas dependem da energia elétrica, propriamente dita, para o seu funcionamento ideal.

Considerando sua relevância para o desenvolvimento mundial, nos últimos anos, o uso de fontes não renováveis de energia elétrica tem se tornado motivo de grande preocupação. Segundo Geller (2003), tanto as fontes energéticas de outrora quanto as tendências atuais na utilização de energia não são e dificilmente serão sustentáveis nos próximos anos. Além disso, o autor ressalta que o consumo global de energia aumentou cerca de dez vezes desde o século XX, sendo que a maior parte dessa energia provém de fontes não renováveis. O Brasil segue a mesma tendência e apresentou um aumento de, aproximadamente, 250% entre os anos de 1975 e 2000, o qual está relacionado, principalmente, ao avanço da industrialização e à crescente expansão de serviços energéticos residenciais e comerciais (GELLER, 2003).

Conforme a Figura 1, em 2005, as edificações foram responsáveis pela maior parte do consumo total de energia elétrica no país (45,2%), sendo que apenas a área residencial representa 22,2% deste.

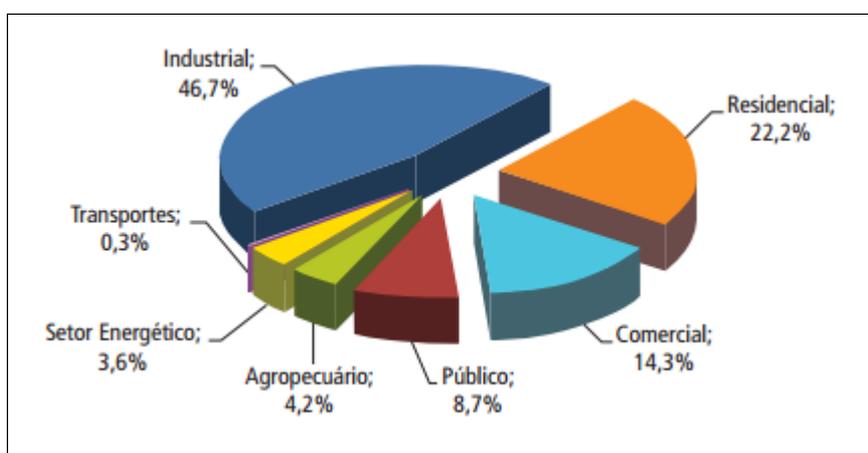


Figura 1 - Consumos setoriais de energia elétrica referentes a 2005. Fonte: (ELETROBRÁS; PROCEL, 2007).

Nessas edificações a energia é utilizada principalmente em equipamentos de iluminação, refrigeração, aquecimento e eletrodomésticos em geral, de acordo com a Figura 2. Nesse sentido, é possível observar que os grandes consumidores residenciais de energia são o chuveiro elétrico (24%), o refrigerador (22%), o condicionador de ar (20%) e a iluminação artificial (14%).

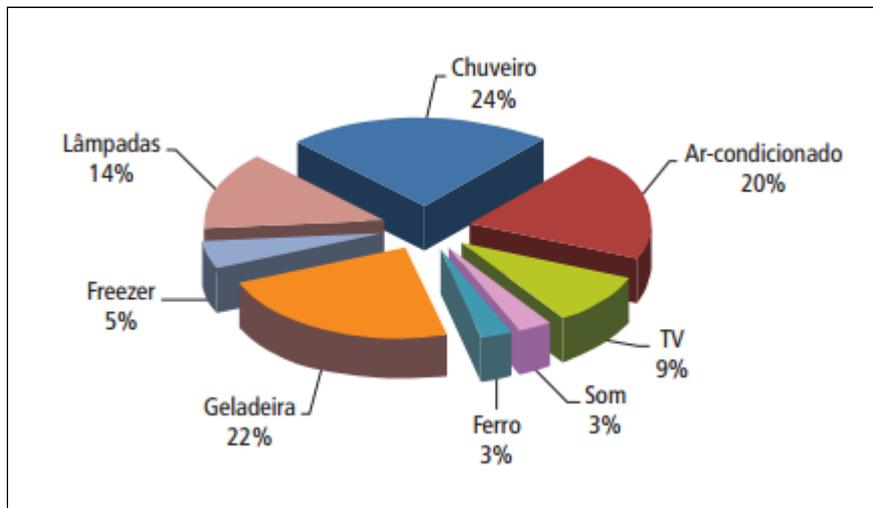


Figura 2 - Consumo de eletricidade das residências brasileiras referente ao uso dos eletrodomésticos em 2005 (ELETROBRÁS, PROCEL, 2007).

A Figura 3, representada abaixo, mostra a participação dos eletrodomésticos utilizados em residências no consumo de energia elétrica de acordo com cada região do Brasil. Verifica-se, assim, que o consumo do condicionador de ar na região Norte é superior ao observado na região Sudeste, já o consumo do chuveiro elétrico é baixo na região Norte e mais elevado nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

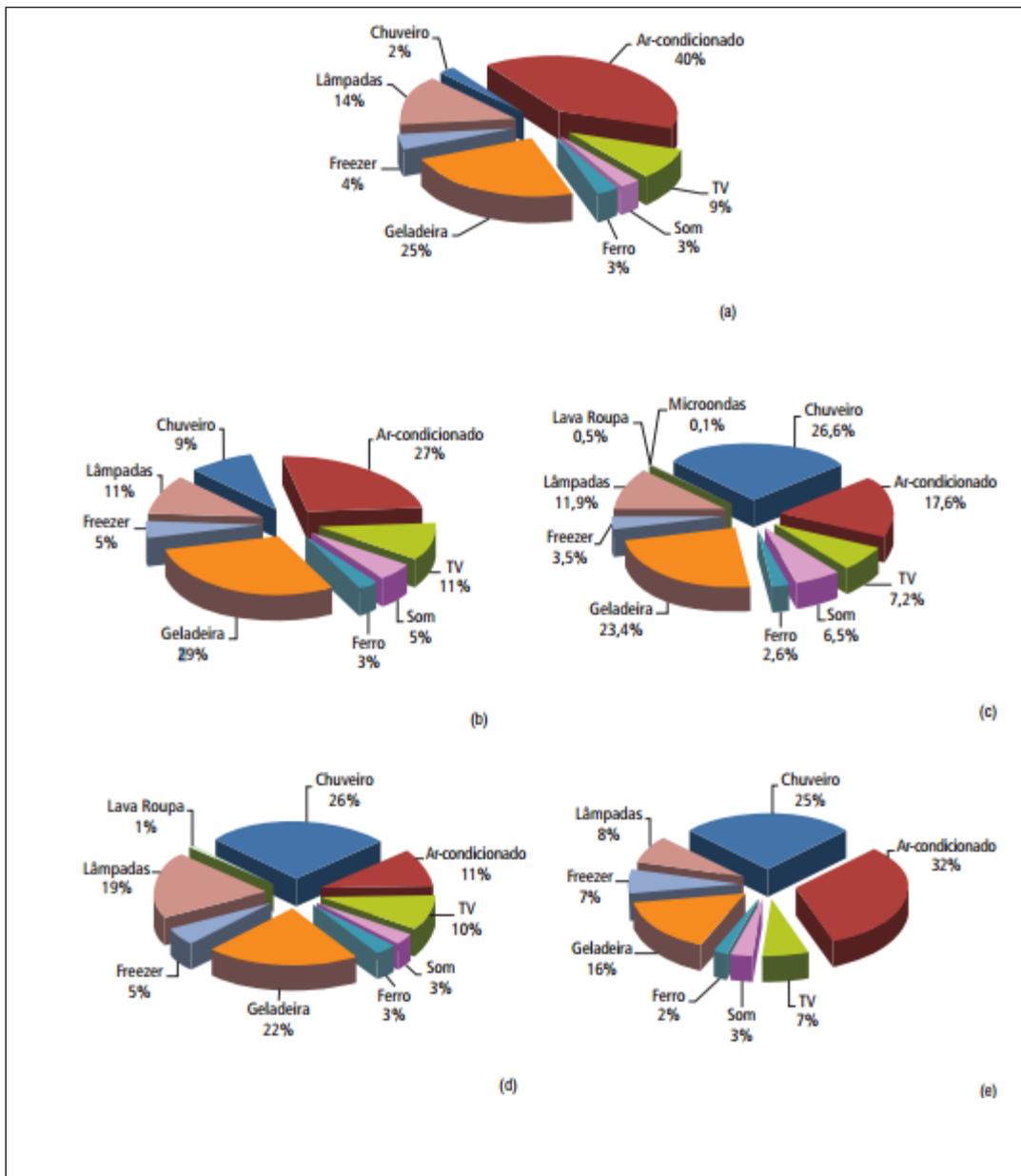


Figura 3 - Participação dos eletrodomésticos no consumo de eletricidade das residências, de acordo com as regiões do Brasil, referente a 2005 - (a) Norte, (b) Nordeste, (c) Centro-Oeste, (d) Sudeste (e) Sul (ELETROBRÁS; PROCEL, 2007).

No início dos anos 2000, o Brasil sofreu excessivamente com a divergência entre o grande crescimento no consumo de energia em relação ao baixo crescimento da capacidade instalada. Com isso, o país passou por um racionamento de energia elétrica, que, segundo Tolmasquim (2000), relaciona-se ao fato de que a expansão do sistema elétrico (investimentos em geração e transmissão de energia) não acompanhou a elevação do consumo. De acordo com o autor, as redes de distribuição de energia elétrica no Brasil permanecem

inalteradas há mais de 50 anos e com o aumento significativo da demanda por energia elétrica, faz-se necessário que estas redes de distribuição passem por avanços tecnológicos, que, entre outros benefícios, permitirão reduzir perdas, melhorar a eficiência operacional e controlar em tempo real as operações (TOLMASQUIM, 2000).

Considerando tal necessidade, iniciou-se uma crescente busca por eficiência energética, tendo em vista não apenas questões relacionadas à economia, mas também à qualidade do ambiente residencial para os clientes e à redução de impactos ambientais. Para Lamberts et al. (2004), um edifício pode ser considerado energeticamente mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto ao seu usuário com menor consumo de energia. Segundo Oliveira e Sá Júnior (1998), o rápido e desordenado crescimento da produção e do consumo energético pode implicar em sérios impactos ambientais e, sendo assim, algumas medidas deveriam ser tomadas pelas autoridades e órgãos competentes a fim de conscientizar a população acerca dos riscos de um consumo desenfreado e sobre os benefícios da utilização eficiente dos recursos energéticos.

Em 1993, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) instituiu um selo de economia de energia no Brasil. Este selo teve como principal objetivo identificar produtos com os melhores níveis de eficiência energética entre equipamentos de uma categoria específica, incentivando o mercado consumidor a obter e utilizar produtos mais eficientes, além de configurar-se como “um importante instrumento de combate ao desperdício de energia elétrica, estimulando os fabricantes à constante evolução do desempenho energético dos seus equipamentos” (PROCEL, 2008).

Segundo Pereira (2010), atualmente existem duas principais estratégias para alcançar a eficiência energética em edificações: a introdução de novas tecnologias e a mudança de hábitos de consumo, incentivadas por programas e políticas de conservação e uso racional de energia. Dessa forma, surgiu no Brasil a importante iniciativa do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), estabelecido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. O PBE é um programa voltado para a conservação de energia e atua através de etiquetas

informativas, alertando o consumidor quanto à eficiência energética dos eletrodomésticos. De acordo com o INMETRO, o PBE

“visa prover informações aos consumidores que lhes permitam avaliar e otimizar o consumo de energia dos equipamentos eletrodomésticos, selecionar produtos de maior eficiência em relação ao consumo, e melhor utilizar eletrodomésticos, possibilitando economia nos custos de energia” (INMETRO, 2008).

Assim, os produtos avaliados recebem etiquetas de “A” a “G”, onde a etiqueta “A” caracteriza os eletrodomésticos energeticamente mais eficientes dentro da escala.

Segundo Ghisi et al. (2007), o uso de energia elétrica no setor residencial brasileiro vem aumentando gradativamente, principalmente, pelo uso crescente de condicionadores de ar e de congelador. Assim, faz-se necessário a etiquetagem com o nível de eficiência energética, já presente nesses e em outros equipamentos disponíveis no mercado nacional, para a diminuição do consumo energético. Outra alternativa apresentada pelo autor com intuito de evitar o consumo extra de eletricidade, é a certificação de que a eficiência energética desses aparelhos é constantemente melhorada, o que poderia ser alcançado através da articulação de esforços entre governo, fabricantes e usuários (GHISI et al., 2007).

2.1 Tecnologias aplicadas a eficiência energética

2.1.1 Casa Inteligente (Smart Home)

Na literatura encontram-se diversos conceitos referentes ao termo “casa inteligente”. Para Martins e Meneguzzi (2014), uma casa inteligente é uma residência composta por um conjunto de dispositivos capazes de se comunicarem entre si, podendo ser operados remotamente através de um sistema de controle, ou seja, é aquela casa capaz de realizar funções lógicas a partir de uma série de condições pré-estabelecidas, como também aquelas que possuem a capacidade de aprender, recomendando automaticamente cenários de iluminação, climatização, som ambiente, entre outros, em função das preferências de cada usuário.

Para desenvolver um ambiente inteligente é aconselhável seguir cinco módulos básicos inter-relacionados. No primeiro módulo, “*Conceito, estratégia e gestão*”, dispõe-se os conceitos iniciais que poderão estar ligados à cultura local onde o projeto estará sendo desenvolvido, aos problemas que o projeto tentará resolver e à aplicação da gestão, assim como à estratégia para atingir os objetivos com êxito. O segundo módulo, “*Construção de sistemas, arquitetura e pessoas*”, pode ser considerado o mais importante, pois é nesta etapa que as especificações das responsabilidades, o relacionamento entre os usuários e a arquitetura do(s) sistema(s) serão definidos. Já no terceiro, “*Tecnologias da informação e sistemas de comunicação*”, quarto, “*Aplicando inteligência ao ambiente*” e quinto módulo, “*Análise financeira e avaliação do investimento*”, obtém-se um panorama referente ao impacto de uma tecnologia inteligente sobre as pessoas, uma análise do valor agregado da tecnologia e uma análise financeira sobre o projeto e seus custos (CLEMENTS-CROOME, 2004).

Segundo Gann (1999), existem diversas diferenças entre casas que possuem meramente alguns aparelhos inteligentes e casas que permitem a computação interativa tanto dentro quanto para fora da residência. Em vista disso, o autor definiu cinco possíveis tipos de casas inteligentes: 1. *Contém Objetos Inteligentes*; 2. *Contém Objetos Inteligentes e Comunicativos*; 3. *Casa Conectada*; 4. *Casa que*

Aprende e 5. Casa em Alerta. A primeira possui apenas alguns dispositivos e eletrodomésticos que funcionam de modo inteligente. Na segunda, os objetos são capazes de se comunicarem entre si, trocando informações e aumentando a sua funcionalidade. O terceiro tipo de casa possui uma rede interna interligada com a rede externa, permitindo o controle interativo dos sistemas e o acesso aos serviços e à informação, tanto internamente quanto externamente à residência. No quarto tipo, os padrões de utilização são armazenados e os dados obtidos são utilizados para antecipar as necessidades dos usuários como ocorre, por exemplo, na “adaptive home”, uma casa que aprende padrões de utilização do aquecimento e da iluminação. Por fim, o quinto tipo de casa inteligente tem suas atividades, pessoas e objetos constantemente monitorados, alertando e antecipando as ações a serem tomadas (GANN, 1999).

2.1.2 Rede Inteligente (Smart Grid)

A expressão “Rede Inteligente” foi utilizada pela primeira vez em 2005 por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, em um artigo publicado na revista IEEE P&E, com o título de “Toward A Smart Grid” (AMIN & WOLLENBERG, 2005). Na literatura existem diversas definições para o conceito de redes inteligentes, entretanto, todas confluem para o uso de elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam e distribuem a energia. A partir desses elementos é possível enviar um extenso conjunto de dados e informações para os centros de controle, auxiliando a operação do sistema como um todo.

Para a companhia CPFL Energia (Companhia Paulista de Força e Luz), a atribuição de Tecnologia da Informação (TI) acompanhada do elevado grau de automação nos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica possibilitaram a criação das redes inteligentes. Dessa forma, permitiu-se tanto otimizar a produção, distribuição e consumo de energia quanto viabilizar a entrada de novos fornecedores e consumidores na rede, gerando melhorias significativas em monitoramento, gestão, automação e qualidade da energia entregue. Além disso, a Companhia afirma que, em virtude do alto nível de tecnologia agregado, as redes inteligentes permitem responder a várias demandas da sociedade moderna, tanto

no que se refere às necessidades energéticas, quanto ao desenvolvimento sustentável (CPFL, 2016).

De acordo com o National Institute of Standards and Technology (2009 apud. PEREIRA, 2016), a Rede Elétrica Inteligente (REI) é composta por sete agentes interligados: geração, transmissão, distribuição, consumidor, mercados, operadores de rede e provedores de serviços, sendo que os três últimos agentes citados representam aqueles que não estão presentes no sistema de energia elétrica tradicional. O instituto afirma ainda, que todos esses agentes deveriam passar por alterações e melhorias e que o sistema de distribuição de energia elétrica é o que requer maior investimento devido, principalmente, às suas limitações tecnológicas.

Entre as principais características relacionadas às redes elétricas inteligentes, destacam-se a habilidade de incluir equipamentos e comportamentos dos consumidores nos processos de planejamento e operação da rede elétrica; a capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede; e, por último, reduzir o impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade e limitar perdas, utilizando fontes de baixo impacto ambiental (PEREIRA, 2016).

2.1.3 Medidor Inteligente (Smart Meter)

Para Pereira (2016), um medidor inteligente de energia elétrica é definido como um equipamento capaz de comunicar-se e realizar funções como medição em quatro quadrantes, medição horária, registro de eventos, detecção de interrupção de energia e medição de grandezas de qualidade da energia. A partir da instalação destes medidores inteligentes juntamente aos da rede de comunicação, é possível que as distribuidoras de energia elétrica monitorem as redes e atuem em tempo real, permitindo ainda anexar novos equipamentos como, por exemplo, religadores e sensores.

Pereira (2016) afirma ainda que, entre os equipamentos presentes na rede de distribuição, o medidor de energia elétrica é um dos principais elementos a serem modernizados devido a sua ampla utilização. Essa afirmação é corroborada por dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), cuja estimativa é a de que hoje, no Brasil, existem aproximadamente setenta milhões de medidores em uso.

Os medidores de energia elétrica inteligentes possuem algumas características adicionais quando comparados aos medidores convencionais como a medição bidirecional, ou seja, o registro da energia entregue para a unidade consumidora e da energia eventualmente produzida por essa unidade; a capacidade de armazenar o consumo em postos tarifários para atender a regulamentação da tarifa branca que efetua a medição horária; e possui funções de registro de grandezas elétricas ao longo do tempo para análise da concessionária de energia elétrica (ANEEL, 2012). De acordo com Pereira (2016), a principal diferença consiste na presença da telecomunicação, que permite a leitura e configuração do medidor de forma remota, além disso, os medidores também possuem funcionalidades avançadas como: medição em quatro quadrantes, sistema de corte remoto, memória para armazenar variações da rede elétrica, sistema de detecção de fraude e medição de parâmetros de qualidade de energia.

No entanto, mesmo com as características descritas anteriormente, os medidores de energia elétrica inteligentes continuam sendo uma subcategoria dos medidores eletrônicos, pois, para efeitos de normalização e legalização, qualquer equipamento desenvolvido que realize a medição de energia elétrica deve possuir o registro do seu modelo no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia). O INMETRO é o órgão brasileiro responsável pela homologação e certificação dos medidores de energia elétrica e, atualmente, existem três normas vigentes que definem os requisitos básicos para esses medidores, são elas as portarias nº587, 586 e 520.

2.2 Inteligência Artificial Conexionista X Simbólica

Segundo Thomé (2002), a principal diferença entre a inteligência artificial conexionista e a simbólica está no fato da simbólica tentar simular o comportamento inteligente humano desconsiderando os mecanismos responsáveis, enquanto que na conexionista acredita-se que construindo um sistema que simule a estrutura do cérebro, este sistema apresentará inteligência, ou seja, será capaz de aprender, assimilar, errar e aprender com seus erros.

A partir do objetivo do trabalho, optou-se por utilizar a IA conexionista através dos sistemas difusos, visto a necessidade de analisar situações alternativas ao verdadeiro e falso convencional e usando um recurso de aprendizagem durante a execução do sistema.

2.2.1 Sistemas difusos

Segundo Sturm (2005), a Lógica difusa é considerada um raciocínio que busca quantificar uma determinada realidade ou situação em circunstâncias nas quais existem muitas variáveis incertas, com o intuito de parametrizar as informações a serem computadas. Dessa forma, os dados incertos coletados são analisados de acordo com a regra implementada e aproximados a números que possibilitem a interpretação de máquinas e computadores.

Na lógica tradicional (booleana), são previstos apenas dois estados – verdadeiro ou falso – e em um contexto de iluminação, por exemplo, existem apenas os estados totalmente ligado ou totalmente desligado, o que limita a faixa de possibilidades de luminosidade, uma vez que, em determinados momentos, o “ideal de consumo energético” poderia estar em um estado intermediário, entre muito claro e muito escuro. Entretanto, com a utilização da lógica difusa é possível definir intervalos dentro de determinados conjuntos e também possibilitar o controle da intensidade de luz entre diversas faixas de luminosidade, ou seja, não é obrigatório que estes valores estejam contidos em apenas um grupo específico, podendo haver

sobreposições entre as verdades e entre as variáveis previamente definidas (SOUSA & SOUSA, 2014).

Na figura abaixo, demonstra-se o uso da lógica difusa aplicada a uma variável linguística chamada *luminosidade*, que pode ser definida com valores correspondentes ao escuro, normal e brilhante. Tomando como exemplo um valor de entrada real de 150 (lux) de um sensor de iluminação, pode-se caracterizar o escuro como grau 0, o normal como grau 0.8 e o brilhante como grau 0.2 (WANG, 1997).

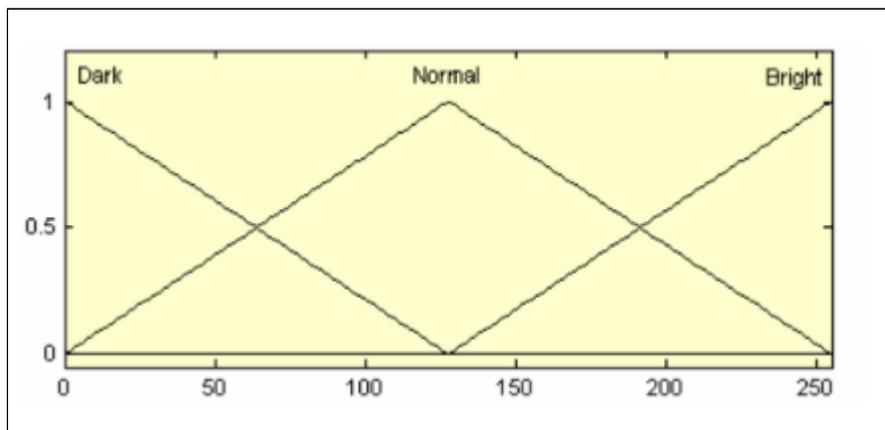


Figura 4 - Variável linguística 'iluminação' definida com três funções de associação.
Fonte: (VAINIO et al, s.d.)

De acordo com Malutta (2004), o raciocínio difuso é composto pelas etapas de fuzzificação, inferência e defuzzificação, conforme mostra a figura abaixo:

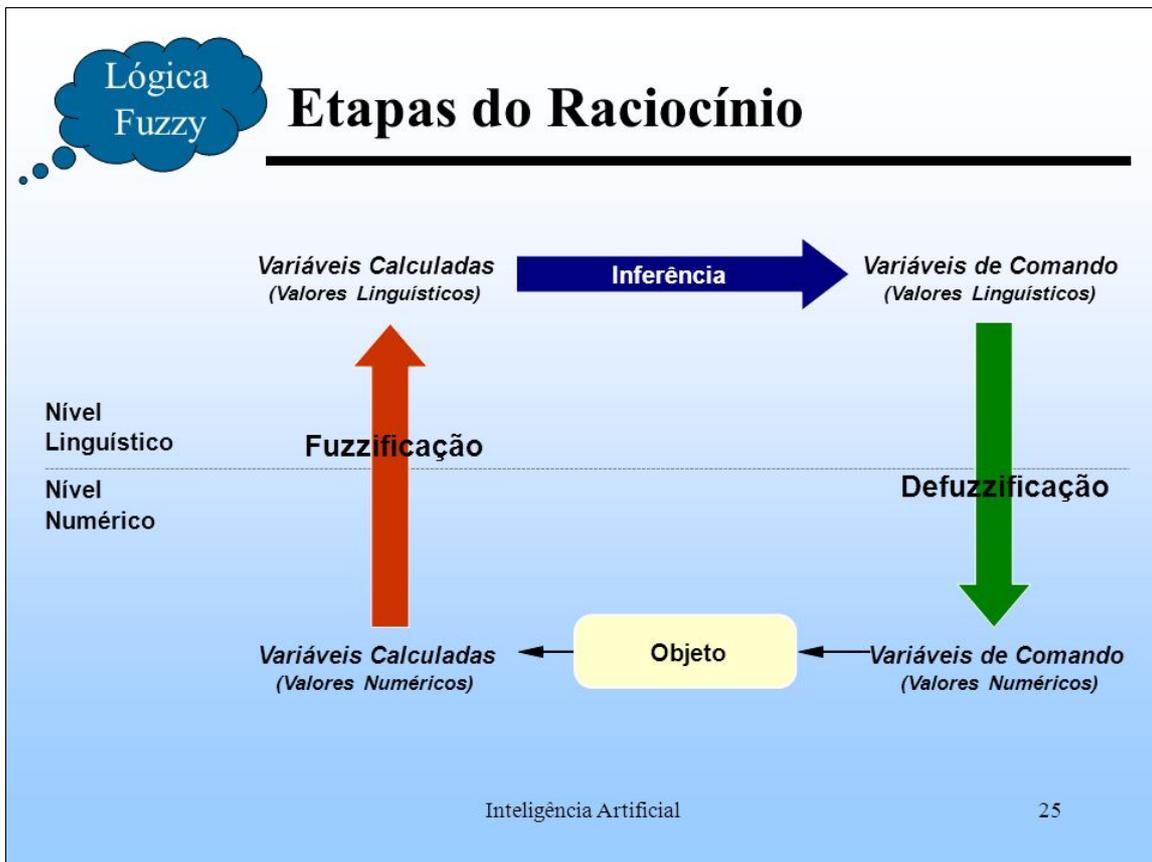


Figura 5 - Etapas do raciocínio Fuzzy. Fonte: (JUNGLES, 2006).

A *Fuzzificação* é responsável por realizar a análise do problema, definir as variáveis linguísticas e as funções de pertinência. Nessa etapa, os novos valores passam pelas funções de pertinência que definem a qual conjunto determinado valor pertence. Já a *Inferência* é a etapa realizada após a fuzzificação, na qual é determinado o grau de pertinência de cada conjunto e, com os dados resultantes, são executadas as regras *SE-ENTÃO*, como por exemplo, SE a temperatura está “alta” ENTÃO deve-se “ligar” o condicionador de ar”. Por último, ocorre a etapa de *Defuzzificação*, que reside na conversão das variáveis difusas em valores numéricos e aceitos pelo sistema. Nessa etapa, utiliza-se normalmente alguma técnica para realizar a defuzzificação, que entre as mais conhecidas e importantes estão a centróide (centro de gravidade), na qual todos os valores das variáveis linguísticas de saída são preenchidos com zero para o grau de associação do valor; a first-of-maxima; a middle-of-maxima e o critério máximo. A partir das definições citadas acima é possível concluir que a defuzzificação é o oposto da fuzzificação, ou seja, a fuzzificação transforma um dado quantitativo em um dado “incerto”, já a

defuzzificação converte um dado considerado “incerto” em um valor quantitativo para que possa ser computado em um próximo passo (MALUTTA, 2004).

Durante a etapa de Fuzzificação, uma tarefa primordial é definir qual(is) será(ão) a(s) função(ões) de pertinência utilizada(s). Entre as funções mais conhecidas e utilizadas estão a função de pertinência Triangular, a Trapezoidal e a Gaussiana. A função de pertinência Triangular é utilizada quando o parâmetro em análise possui uma faixa de variação e um número dentro desta faixa possui uma possibilidade de ocorrência num único pico maior do que os outros, conforme a figura abaixo:

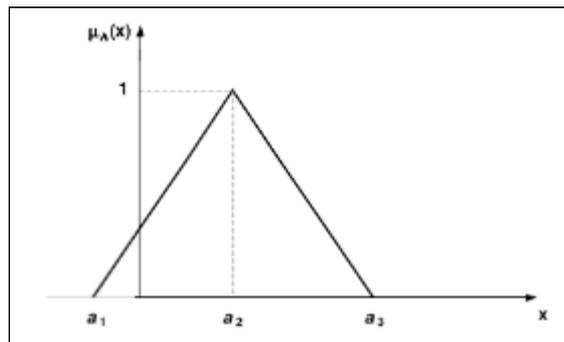


Figura 6 - Número fuzzy Triangular $A = (a^1, a^2, a^3)$. Fonte: (PACHECO, 2016).

Segundo Hines (1997), a função de pertinência triangular é definida pelos parâmetros $[a^1 \ a^2 \ a^3]$, onde ‘ a^1 ’ é o ponto que intercepta o eixo x mais à esquerda; o parâmetro ‘ a^2 ’ é o pico central, onde o grau é igual a 1 e ‘ a^3 ’ é a interceptação à direita no eixo x. A função triangular pode ser representada da seguinte forma: $y = \text{triângulo}(x, [a^1 \ a^2 \ a^3])$. Além disso, seus parâmetros $[a \ b \ c]$ devem ser variáveis discretas.

Para Santos et al. (2004) uma função Trapezoidal é expressa através de quatro parâmetros, que descrevem os quatro vértices do trapézio representante da função. Nessa função, existem dois parâmetros com pertinência igual a um, ao passo que na triangular existe apenas um parâmetro com esse grau de pertinência. Abaixo, apresenta-se uma figura de como a função trapezoidal pode ser representada.

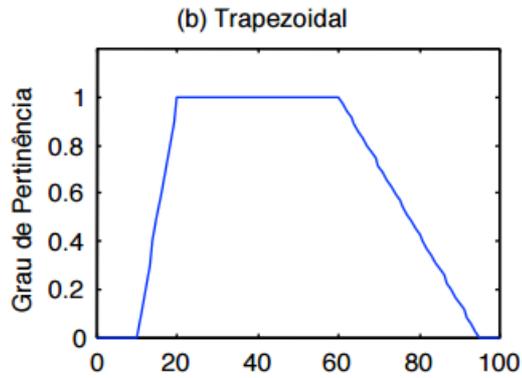


Figura 7 - Função Trapezoidal. Fonte: (PACHECO, 2016).

Já a função Gaussiana é caracterizada por sua média e por seu desvio padrão. Esse tipo de função de pertinência tem um decaimento suave e tem valores diferentes de zero para todo domínio da variável estudada (BARROS, 2005). Abaixo, apresenta-se o comportamento da função Gaussiana:

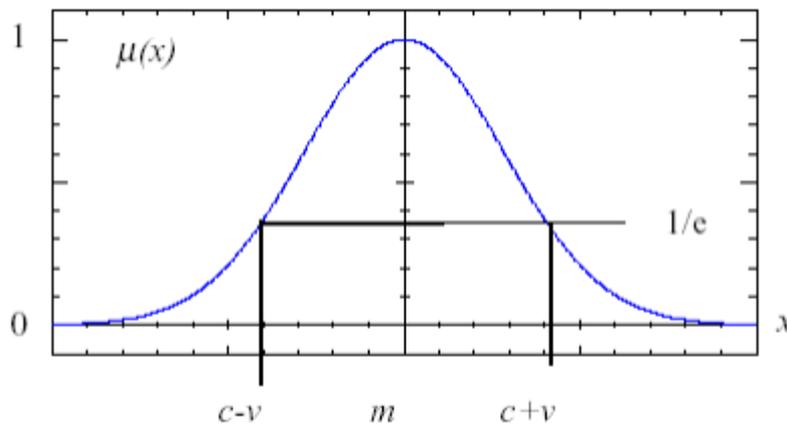


Figura 8 - Exemplo de função Gaussiana. Fonte: (SOUZA, 1999).

O sistema difuso apresenta dois métodos clássicos de inferência, o método de Mamdani e o método Takagi-Sugeno. O primeiro método foi proposto em 1975 por Ebrahim Mamdani e representa um dos primeiros sistemas de controle construídos a utilizar a teoria de conjuntos difusos, sendo que suas principais características são a intuição, a ampla aceitação no mercado e a facilidade de adaptação ao input humano. A seguir, apresenta-se uma figura que representa o sistema de controle difuso baseado no modelo de Mamdani:



Figura 9 - Modelo de Mamdani. Fonte (VIEIRA, 2007).

As regras no modelo de Mamdani possuem relações difusas tanto em seus antecedentes como em seus consequentes, conforme a figura abaixo:

IF Temperatura **IS** *AumentandoMuito* **AND** Pressão **IS** *MuitoAlta*,
THEN PerigoDeExplosão = *Grande*

Figura 10 - Exemplo de regra do método de Mamdani. Fonte (REZENDE, 2005).

Essas regras desempenham um papel importante em sistemas difusos, pois a partir delas são determinadas as políticas de estratégia para a tomada de decisão, ou seja, a base de regras realiza o mapeamento das variáveis do domínio de entrada correspondentes às do domínio de saída, permitindo a geração dos resultados produzidos pelo sistema difuso.

O segundo método de inferência, Takagi-Sugeno (TS), possui grande importância quando há um aumento da complexidade dos sistemas e as técnicas mais tradicionais de projetos de sistemas não forem suficientes para resolver problemas com critérios cada vez mais restritivos. Os sistemas TS são capazes de representar, de forma aproximada ou exata, certas classes dinâmicas não lineares como a combinação de modelos lineares locais invariantes no tempo, descrevendo aproximadamente o comportamento destes sistemas em diferentes pontos no seu espaço de estados. Desta forma, pode-se interpretar a técnica tradicional de linearização em apenas um ponto de operação como um caso particular dos modelos difusos TS, consistindo apenas de um modelo local (TAKAGI & SUGENO, 1985).

2.2.2 Neuro-Fuzzy

Segundo Duda (2000), os sistemas difusos operam constantemente com informações imprecisas, no entanto, mesmo trabalhando com essa imprecisão, geram, normalmente, resultados de fácil compreensão, embora ainda não seja possível realizar uma definição automática de quais regras serão utilizadas para produzir tal resultado. Em contrapartida, as redes neurais possuem grande capacidade de *aprendizado*, mas são limitadas no processamento de variáveis linguísticas (JANG, 1997).

Sendo assim, apresentam-se os sistemas híbridos, ou seja, sistemas que utilizam no mínimo dois paradigmas de processamento de informações sob um único sistema, buscando integrar as vantagens de cada paradigma para produzir modelos mais eficientes (SHING, 1993; ABRAHAM, 2001; MITRA, 2000). Para Babuska e Verbruggen (2003), os sistemas híbridos neuro-fuzzy realizam a combinação entre a semântica transparente dos sistemas difusos, baseada em regras, e a capacidade de aprendizado das redes neurais artificiais.

De acordo com Muller e Reinhardt (1990), as redes neurais, quando aplicadas em sistemas inteligentes, permitem torná-los *dinâmicos*. Essa dinâmica é o resultado da capacidade de aprendizado das redes neurais, proporcionada basicamente por um algoritmo de ajuste nos pesos do perceptron, que é a forma mais simples de rede neural para a classificação de padrões, sendo responsável por receber os sinais do mundo externo através da camada de entrada (HAYKIN, 1999). Assim, quando uma rede neural aprende, ela está ajustando os pesos de conexões dos sinais de entrada. Cabe ressaltar, ainda, que uma rede neural é especificada por sua topologia, pelas características dos nós e pelas regras de treinamento.

Proposto por Jang (1993), o Sistema de Inferência Adaptativo Neuro-Difuso conhecido como ANFIS (Adaptative Neural Fuzzy Inference System) foi uma das primeiras arquiteturas neuro-fuzzy implementadas. Ainda segundo o autor, uma rede neural adaptativa pode ser entendida como uma rede multicamadas, composta por uma arquitetura não recorrente formada por nós interligados e por conexões unidirecionais de aprendizado supervisionado. Cada nó corresponde a uma unidade

de processamento, que recebe esses dados, processando-os através de uma função particular que emite uma saída (JANG, 1993).

O ANFIS, proposto por Jang (1993), é considerado um sistema de inferência difuso organizado na forma de uma rede adaptativa, capaz de realizar o mapeamento dos dados de entrada e saída com base no conhecimento prévio de um profissional. As principais motivações de Jang (1993) para desenvolver o ANFIS foram: a inexistência de técnicas para transformar o conhecimento humano em regras ou base de dados difusos com funções de pertinência apropriadas e a ausência de métodos que permitissem otimizar funções de pertinência para minimizar o erro ou melhorar a performance.

Segundo Werbos (1974), uma rede adaptativa deve, obrigatoriamente, realizar uma etapa conhecida como *treinamento*, pois é através dessa etapa que o conjunto de dados da rede, que corresponde ao vetor de entrada, ajusta os pesos dos nós de forma a minimizar a diferença entre a saída real da rede e a saída desejada. Cada treinamento utiliza um algoritmo de otimização para ajustar os respectivos pesos e minimizar este erro (JANG 1993).

2.3 Componentes Físicos

2.3.1 Arduino

“A palavra "Arduino" é um nome próprio Italiano que possui origem germânica. É composto pelas palavras hard/hart (forte - brave, hardy, strong) e win (amigo em saxão antigo) formando Hardwin (Grande Amigo), que foi latinizado para Ardovinus, e posteriormente para o Italiano Arduino” (GOMES, 2014).

Criado em 2005 na cidade de Ivrea, na Itália, o Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto baseado em hardware e software, flexível e de fácil utilização. Este dispositivo foi criado com o intuito de ser ao mesmo tempo barato, funcional e de fácil programação, podendo ser acessível tanto para estudantes sem experiência em eletrônica e programação quanto para projetistas amadores (SOUSA & SOUSA 2014).

Através das placas Arduino é possível realizar a leitura de entradas, como a temperatura e a umidade do ambiente, a luz de um sensor, uma mensagem do Twitter, entre outros, e transformá-los em uma saída ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online, etc. Foi adotado neste dispositivo o conceito de *hardware livre*, o que significa que qualquer pessoa pode montar, modificar, melhorar e personalizar o Arduino, partindo do mesmo hardware básico.

Segundo Souza (2013), a placa Arduino é composta por um microcontrolador Atmel, um dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28, e por pinos de entrada e saída tanto digitais quanto analógicas. Para utilizar o Arduino é necessário conectá-lo à um computador via cabo USB e programá-lo através de uma IDE (Integrated Development Environment), utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras.

O Arduino possui como principais características o custo, que normalmente é relativamente menor em comparação a outras plataformas de microcontroladores, pode ser executado em diversos sistemas operacionais como, Windows, Macintosh OSX e Linux e possui um ambiente de programação simples e claro para iniciantes e flexível o suficiente para usuários avançados aproveitarem o máximo de seus recursos (GOMES, 2014).

De acordo com Gomes (2014), existem diversos tipos de Arduino presentes no mercado que foram desenvolvidos pelos seus idealizadores, porém, existem também muitas versões clones ou derivadas desses. A partir de cada projeto a ser desenvolvido há formatos e configurações de hardware específicas, sendo assim, para este projeto utilizou-se o Arduino *Uno*, um dos modelos mais utilizados pelos praticantes. Além deste, existe também o Arduino *Mega*, que possui mais portas de entrada, possibilitando a criação de dispositivos maiores e mais complexos, e os modelos *Leonardo*, *Due*, *ADK*, *Nano*, *Mini* e o *Esplora*. Abaixo, apresenta-se uma figura com os modelos referidos, anteriormente:



Figura 11 - Modelos de Arduinos. Fonte: (FILIPEFLOP, 2014).

Além da placa física, o Arduino possui o seu próprio ambiente de programação (IDE). Esse ambiente de desenvolvimento é composto por um compilador gcc (C e C++) que utiliza uma interface gráfica construída em Java e envia os comandos escritos na IDE para o Arduino. A linguagem de programação utilizada no Arduino consiste da derivação de dois projetos apresentados a seguir: O Processing (<http://www.processing.org/>) e o Wiring (<http://wiring.org.co/>).

Na figura abaixo, apresenta-se a tela inicial do ambiente de desenvolvimento do Arduino:

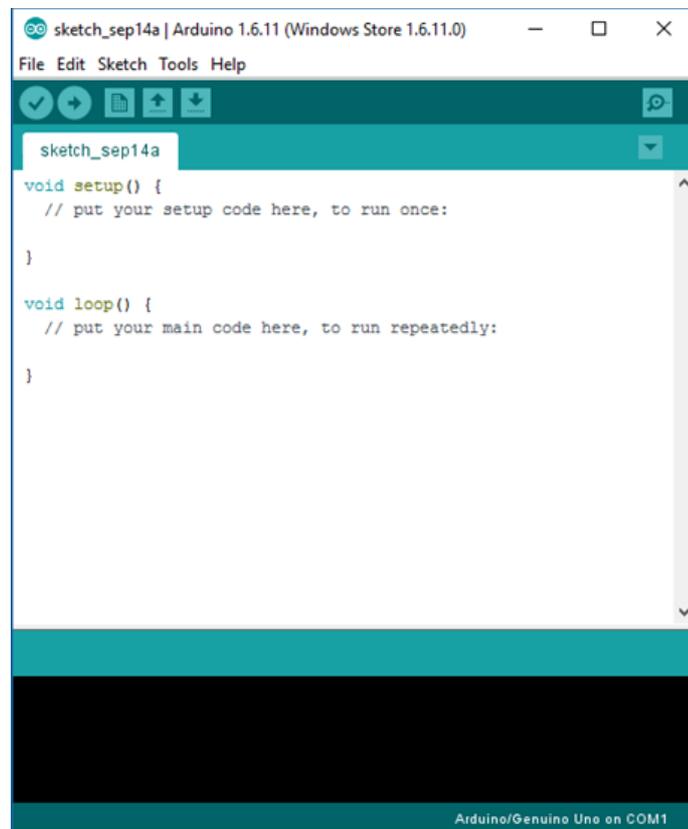


Figura 12 - IDE Arduino. Fonte: (FILIPEFLOP, 2014).

Outro componente muito importante para o desenvolvimento de sistemas utilizando o Arduino é a Protoboard. Conhecida como *matriz de contatos*, a protoboard é utilizada para realizar montagens provisórias, teste de projetos, além de inúmeras outras aplicações. Esta placa é montada através de uma base de plástico e possui várias entradas destinadas à inserção dos terminais dos componentes, permitindo que seja possível montar um circuito elétrico sem a necessidade de solda (GOMES, 2014). A seguir, mostra-se um exemplo da utilização da Protoboard em conjunto com o Arduino:

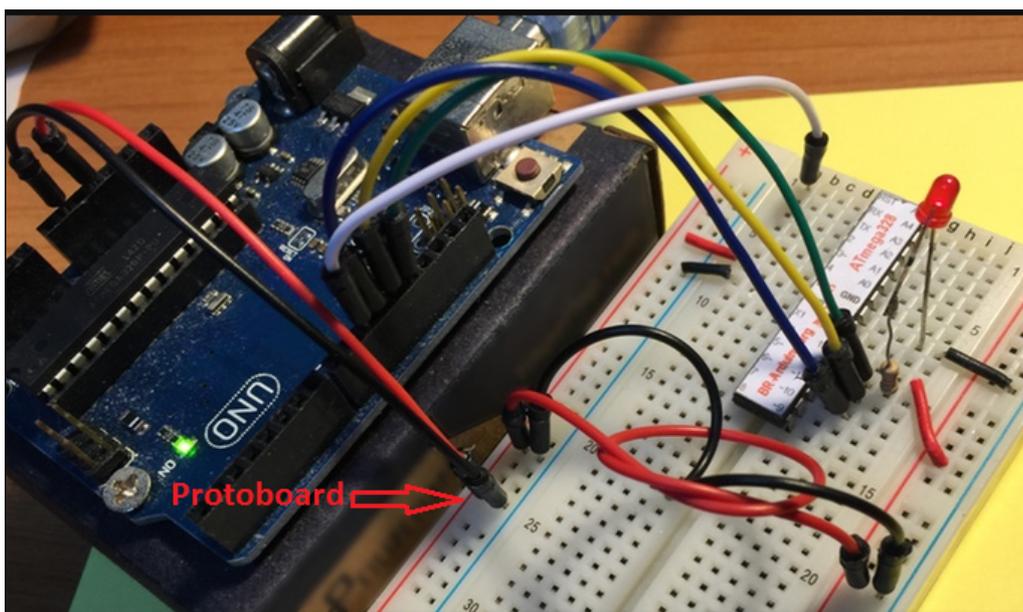


Figura 13 - Utilização da Protoboard. Fonte: (BR-Arduino, 2015).

2.3.2 Sensores

Para Patsko (2006), um sensor pode ser compreendido como “*aquilo que sente*”, ou seja, um sensor é um componente ou um circuito eletrônico que permite analisar uma determinada condição do ambiente (temperatura, umidade e luminosidade, por exemplo) e enviar essas informações (dados) a um circuito eletrônico que realizará uma determinada ação, como por exemplo, diminuir a temperatura. Através dos sensores é possível realizar, também, medidas mais complexas como a rotação de um motor ou a distância de um carro até algum obstáculo próximo.

Ainda segundo o autor, os sensores podem ser classificados também como um *transdutor*, componente que transforma um tipo de energia em outro. Um motor, por exemplo, é um tipo de transdutor, pois converte a energia química ou elétrica em energia mecânica. Um alto-falante também pode ser considerado um transdutor, tendo em vista que ele transforma energia elétrica em som. Sendo assim, assume-se que um sensor pode ser definido como um transdutor específico, que transforma certo tipo de energia (luz, calor ou movimento) em energia elétrica, utilizada para a leitura de alguma condição ou característica do ambiente (PATSKO, 2006).

A partir do desenvolvimento de sensores e sua ampla utilização em projetos de automação, tanto residenciais como industriais, foi possível observar inúmeras vantagens e comodidades para seus utilizadores, como por exemplo, aumentar a eficiência no funcionamento de um motor ou de uma linha de produção, estacionar um automóvel com maior segurança, diminuir o risco de furto em residências com sensores capazes de perceber o ambiente e enviar informações em tempo real para seus donos. Essas e outras vantagens podem ser oferecidas a partir da utilização de sensores (WENDLING, 2010).

De acordo com Patsko (2006), os sensores podem ser divididos em dois tipos: sensores analógicos e digitais. Os sensores analógicos são dispositivos que respondem através de sinais analógicos, ou seja, sinais que mesmo limitados em uma certa faixa, podem variar entre inúmeros valores de tensão intermediários. Isso significa que para cada nível da condição medida, haverá um nível de tensão correspondente, conforme a figura abaixo:

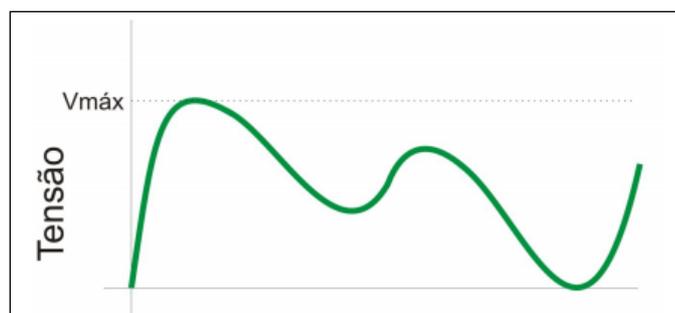


Figura 14 - Um exemplo de sinal analógico. Fonte: (PATSKO, 2006).

A utilização dos sensores analógicos podem ser aplicados somente a um circuito analógico, assim, quando executado em um circuito digital, como um microcontrolador ou computador, esse sinal deverá ser previamente convertido, tendo em visto que o funcionamento desses sistemas baseiam-se em sinais digitais, que podem ser gravados e processados muito mais facilmente do que os analógicos.

Já os sensores digitais baseiam-se em níveis de tensão bem definidos, que podem ser descritos tanto como Alto (High) ou Baixo (Low), quanto 1” e “0”. Esses sensores utilizam a lógica binária, que é a base do funcionamento dos sistemas digitais. Ao contrário de um sensor analógico, no qual os valores possíveis são teoricamente infinitos, um sensor digital poderá alternar apenas entre certos estados bem definidos, não sendo possível haver um valor intermediário entre eles, conforme a figura abaixo:

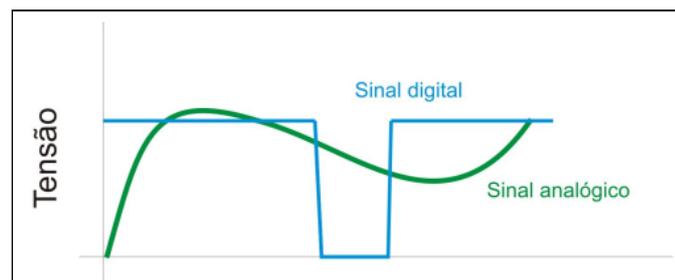


Figura 15 - Comparação entre sinal analógico e digital. Fonte: (PATSKO, 2006).

Na figura abaixo, apresentam-se alguns tipos de sensores presentes no mercado e que podem ser utilizados para realizar a automação de residências e indústrias:



Figura 16 - Exemplo de alguns tipos de sensores. Fonte: (VINITRONICA, 2017).

2.4 Conclusão

Tendo em vista o que foi descrito até o momento, nota-se que, para atingir os objetivos propostos neste projeto, os temas apresentados são bastante relevantes para a automação de residências com a utilização de técnicas de inteligência artificial.

O foco principal deste trabalho é buscar uma alternativa para otimizar a eficiência energética dos dispositivos utilizados em uma residência, como o condicionador de ar e as lâmpadas. Sendo assim, primeiramente, apresentou-se um panorama geral da atual situação energética do Brasil, bem como as políticas públicas relacionadas ao tema e uma breve descrição das abordagens utilizadas para otimizar o uso dos recursos, como o smart meter (medidor inteligente) e a smart home (casa inteligente), pertinentes a este projeto.

Em seguida, introduziu-se as abordagens de inteligência artificial Difusa e Neuro-Fuzzy, embora tenha-se optado neste trabalho por utilizar apenas a lógica difusa no controlador do sistema, visto que os sistemas difusos atendem os requisitos necessários para representar os cenários propostos no trabalho, além da simplicidade na implementação, considerando a possibilidade de utilizar-se a abordagem Neuro-Fuzzy em trabalhos futuros.

Por fim, descreveu-se as concepções do Arduino e sensores, componentes físicos do sistema que foi construído. Entre os possíveis dispositivos e sensores foi observada grande variedade e formas diversas para a coleta de informações do ambiente. Sendo assim, o maior desafio foi realizar a integração dessas plataformas e permitir que todos esses dispositivos comuniquem-se em uma mesma linguagem e com o mesmo objetivo comum.

3. Trabalhos Correlatos

3.1 LÓGICA FUZZY APLICADA AO CONTROLADOR DE VELOCIDADE DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE EIXOS DE VEÍCULOS

O artigo intitulado “Lógica fuzzy aplicada ao controlador de velocidade de uma linha de montagem de eixos de veículos” de autoria de Sérgio Roberto Pinton e Wilton Ney do Amaral, tem como principal objetivo apresentar a utilização e a conceituação da lógica difusa (fuzzy), a partir do controle de velocidade de um motor de corrente contínua, utilizado para aplicação em tratores.

Os autores iniciam o artigo justificando o uso da lógica difusa no controle do tempo de linhas de montagem. Segundo Sturm (2005), a lógica difusa pode ser considerada um raciocínio que visa quantificar uma determinada situação ou realidade em situações que existem muitas variáveis incertas, com intuito de parametrizar as informações para que possam ser computadas.

A lógica difusa aplicada ao contexto deste projeto foi utilizada tanto na velocidade quanto no tempo, possibilitando o aumento da produção, a redução de tempo e muitas vezes a redução de custos. Segundo os autores, a estruturação do conjunto difuso foi definida a partir da multivalência de todos os tempos de montagens, para isso foi realizada uma atribuição de pertinência a todos os tempos de produção para qualquer sequência de produtos em operação.

Assim, com base nessas premissas foram definidas duas regras. A primeira regra, *investigação do tempo de montagem - limite momentâneo*, foram considerados dois aspectos técnicos do processo de produção, o primeiro foi o

ajuste da velocidade de arraste da linha de montagem, já o segundo tem como referência os tempos de montagens de eixos. O objetivo desta regra é adotar o maior tempo de montagem da sequência de eixos, provendo uma redução no tempo do gargalo de produção geral que normalmente é de 5 a 6 minutos. Com base na distribuição dos tempos foram estabelecidas as faixas de variações para a formação das variáveis linguísticas, conforme a imagem a seguir:

Faixa de variação do tempo de montagem			Variável linguística	Código
g mínimo	g médio	g máximo		
5,4	5,6	5,8	Longo	L
5,1	5,3	5,5	Meio Longo	ML
4,8	5,0	5,2	Médio	M
4,5	4,7	4,9	Curto	MC

Figura 17 - Faixas de variação dos tempos. Fonte: (PINTON; AMARAL, 2012).

A partir disso, a primeira regra pode ser definida pela seguinte função:

$$\text{Regra}_1 = \{g = g_{\text{m\u00e9dio}} \mid g \in \mu_1^a \text{ se } g_{\text{m\u00ednimo}} < g < g_{\text{m\u00e1ximo}}\}$$

Já a segunda regra, *flexibilização do tempo de produção em função de rendimento humano*, consiste em alternar a velocidade durante os turnos de trabalho. Este procedimento foi efetuado durante algumas vezes nos turnos de trabalho, alterando a velocidade com base apenas na rotina e identificando o grau de saturação dos montadores diante das atividades a serem realizadas dentre os diferentes lotes de eixos a serem montados. Além disso, foi realizada uma pesquisa de rendimento de produtividade para estabelecer a fuzzificação através dos valores linguísticos e a definição da função de pertinência. Na figura abaixo, apresenta-se o nível de rendimento entre as horas de uma jornada de trabalho:

Faixa de variação do rendimento				Variável lingüística
Faixa	$r_{\text{mínimo}}$	$r_{\text{médio}}$	$r_{\text{máximo}}$	
r_1	85%	95%	>95%	Alto
r_2	75%	85%	95%	Ótimo
r_3	65%	75%	85%	Médio
r_4	>65%	65%	75%	Baixo

Figura 18 - Conversão dos valores lógicos em linguísticos. Fonte: (PINTON; AMARAL, 2012)

Portanto, a regra nº2 pode ser definida pela seguinte função:

$$\text{Regra}_2 = \{ r_i = r_{\text{médio}} \mid r_i \in \mu_2^a \text{ se } r_{\text{mínimo}} < r_i < r_{\text{máximo}} \}$$

Na última etapa do sistema difuso, foi realizado o processo de *defuzzificação* gerando os dados através dos resultados das conversões das pertinências. Pode-se observar que alterando os ajustes das velocidades do motor da linha de montagem, obteve-se uma redução na velocidade de 17% em função da redução do tempo de 0,9 min. Em seguida, os autores demonstram as possíveis combinações dos valores de tempos após a aplicação da regra geral. Pode-se observar o valor de 4,13 min.

Regra 1 Tempo do gargalo momentâneo	Regra 2 - Rendimento			
	95%	85%	75%	65%
5,60	4,13	4,61	5,23	6,03
5,30	3,91	4,36	4,95	5,71
5,00	3,68	4,12	4,67	5,38
4,70	3,46	3,87	4,39	5,06

Figura 19 - Aplicação da regra geral. Fonte (PINTON; AMARAL, 2012)

Por fim, os autores afirmam que para este modelo de controle uma melhoria poderá ser efetuada, a implementação da lógica Neuro-Fuzzy, para a coleta dos tempos de montagem e assim definir os valores de ajustes na regra nº1, bem como para o rendimento humano da regra nº2, automaticamente, estabelecendo a inteligência artificial.

3.2 LEARNING AND ADAPTIVE FUZZY CONTROL SYSTEM FOR SMART HOME

O projeto desenvolvido por Antti-Matti Vainio, Miika Valtonen e Jukka Vanhala, tem como principal objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema de automação residencial adaptativo ao comportamento dos usuários, possibilitando alterar a tomada de decisão do sistema a partir de cada tipo de comportamento previamente mapeado.

Além disso, é intuito deste sistema possibilitar ao usuário o menor esforço possível em sua configuração inicial, bem como torná-lo capaz de cancelar qualquer decisão tomada pelo sistema através de dois modos de operação: o autônomo e o baseado em eventos. No modelo autônomo o sistema possui total controle sobre as ações realizadas na gestão da iluminação. Já no segundo modelo, baseado em eventos, o usuário possui autonomia para configurar uma ação estática, a qual deve ser realizada a partir de um comportamento pré-configurado, sendo que este deve ser priorizado em relação às decisões do sistema.

O sistema proposto foi desenvolvido utilizando a lógica difusa pelas inúmeras vantagens para o uso desse conceito para a área de automação. Para o projeto em questão os autores optaram por utilizar como parâmetro as lâmpadas de uma residência, visto que o resultado prático alcançado a partir delas é mais perceptível. Os conjuntos difusos foram definidos a partir das variáveis implementadas no algoritmo difuso (fuzzy), assim, o sistema aprende a partir das ações executadas pelos usuários e antecipa as necessidades dos mesmos de acordo com as informações previamente coletadas.

Segundo os autores, no desenvolvimento do sistema não foram definidas pré-configurações ou regras iniciais, tendo em vista que cada usuário possui hábitos muito particulares, ficando a cargo do próprio sistema identificar os hábitos de forma autônoma. Outra justificativa para esta decisão se baseia no fato de que os hábitos e rotinas dos usuários se alteram ao longo do tempo, o que poderia ocasionar problemas caso fossem definidas regras iniciais para o sistema.

3.3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA FUZZY EMBARCADO PARA CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

O projeto desenvolvido por Jerônimo Sousa e Aldir Sousa, tem como objetivo principal realizar o controle da luminosidade por meio de um controlador através da lógica difusa, mantendo-se a eficiência e a eficácia da aplicação. Inicialmente, os autores enfatizam a importância dos sistemas de automação com objetivo de obter ganhos na eficiência energética residencial. Segundo Canato (2007), “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”.

Os autores justificam o uso da lógica difusa no desenvolvimento do projeto baseado no controle do consumo de eletricidade e, conseqüentemente, de propiciar uma maior eficiência energética no âmbito residencial. Ainda segundo os autores, com a utilização da lógica difusa será possível definir intervalos dentro de determinados conjuntos e também possibilitar o controle da intensidade de luz entre diversas faixas de luminosidade, propiciando um uso mais eficiente da energia elétrica. Para comprovar a eficiência e a eficácia do sistema difuso, os autores realizam neste projeto testes comparativos entre o consumo de energia do sistema tradicional (on/off) e o do sistema difuso.

De acordo com os autores, a principal desvantagem na utilização de sistemas baseados em controladores on/off, consiste na impossibilidade deste tipo de sistema regular a luminosidade em faixas intermediárias entre o ligado e o desligado. Assim, em dias muito claros não seria possível fazer proveito da luz natural controlando a potência da lâmpada para que não emita sua capacidade total de iluminação, causando o desperdício de energia.

Os autores mencionam ainda, que existem diversas metodologias para a construção de um sistema de iluminação, sendo que o que difere uma da outra é, principalmente, a definição dos parâmetros a serem utilizados como critério de decisão para o controlador. A principal desvantagem na utilização de sistemas baseados em controladores on/off, segundo os autores, é a impossibilidade deste tipo de sistema regular a luminosidade em faixas intermediárias entre o ligado e o

desligado. Assim, em dias muito claros não seria possível fazer proveito da luz natural controlando a potência da lâmpada para que não emita sua capacidade total de iluminação, causando o desperdício de energia.

Os autores desenvolveram o circuito de gerenciamento a partir de um Arduíno que “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 afetá-lo por meio do controle de luzes, motores e outros atuadores” (SOUSA & SOUSA, 2014). Além disso, utilizou-se o sensor fotoresistor LDR (light dependent resistor), 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, sendo que quanto maior for a intensidade luminosa menor será a sua resistência elétrica.

Por fim, os autores concluem o artigo reafirmando a adequação do protótipo desenvolvido para a otimização do uso de energia elétrica, assim como sua utilidade para a economia de eletricidade, uma vez que ele pode ser adaptado para uso em sistemas de automação residencial, contribuindo dessa forma com o consumo sustentável dos recursos energéticos. Os autores apontam ainda que, para a aplicação do protótipo em ambientes de maior escala, o hardware e o software desenvolvidos devem ser adaptados, o que poderá ser efetivado através de futuros trabalhos sobre o tema.

3.4 TABELA COMPARATIVA

Abaixo, apresenta-se uma tabela que mostra a presença ou ausência de diferentes tecnologias em trabalhos correlatos a este projeto (1, 2 e 3), bem como aquelas presentes nesse trabalho (4).

	Trabalhos			
	1	2	3	4
Tecnologias utilizadas	Fuzzy	Fuzzy	Fuzzy	Fuzzy
		Arduino	Arduino	Arduino
	Sensores	Sensores		Sensores
		Eficiência energética		Eficiência energética

Tabela 1 - Comparativo entre trabalhos correlatos e esse projeto. Fonte (Do autor, 2017).

Legenda:

- [1] Lógica Fuzzy aplicada ao controlador de velocidade de uma linha de montagem de eixos de veículos;
- [2] Learning and Adaptive fuzzy control system for smart home;
- [3] Desenvolvimento de um sistema fuzzy embarcado para controle de iluminação;
- [4] Automação residencial para conservação e eficiência energética através de técnicas de Inteligência artificial.

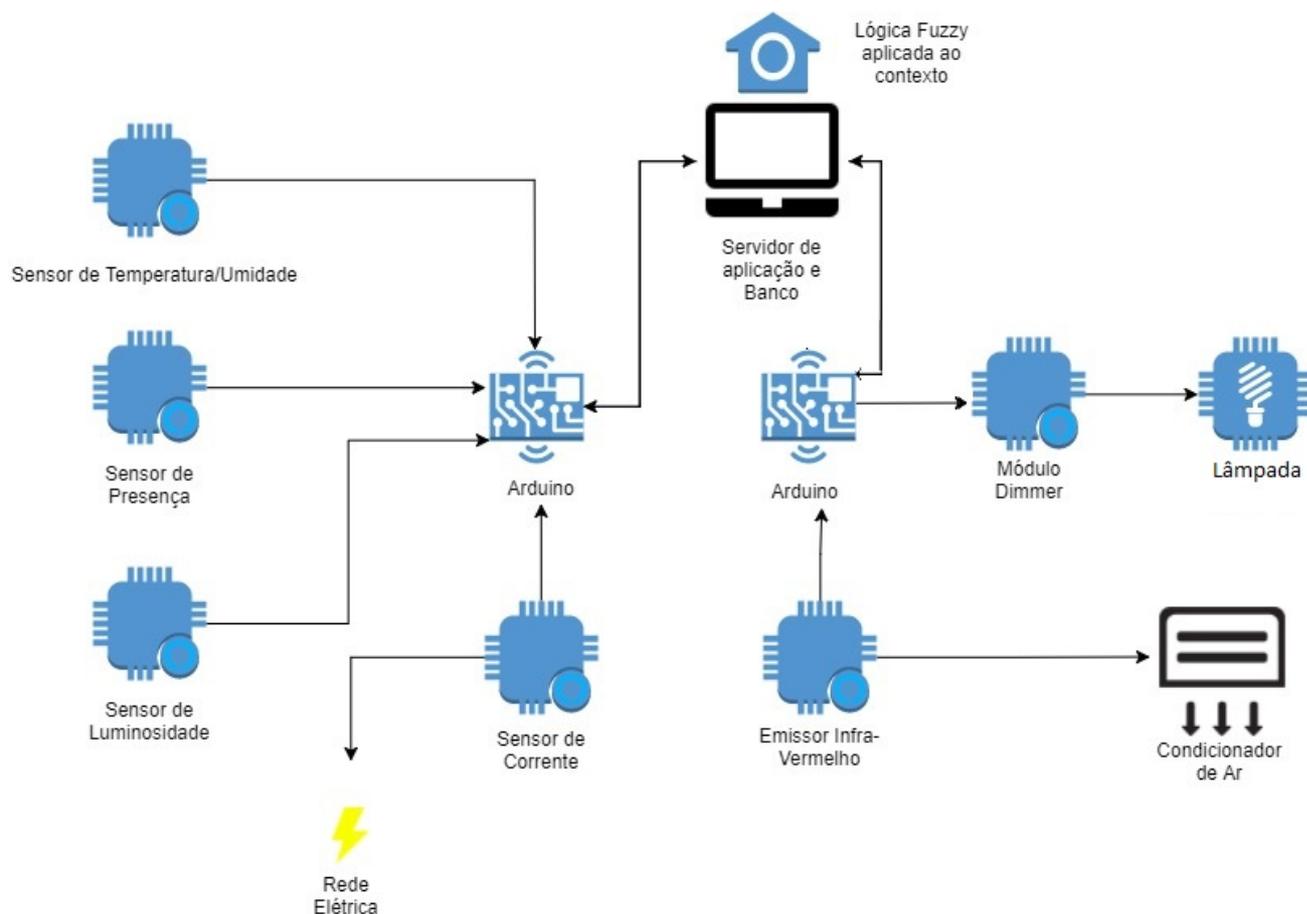
4. Desenvolvimento

Nesse capítulo, apresenta-se o processo de desenvolvimento de um modelo de sistema inteligente que a partir da utilização da técnica de Inteligência Artificial, conhecida como lógica nebulosa (Fuzzy), torna possível o controle inteligente de condicionadores de ar e da luminosidade emitida pelas lâmpadas led, conforme as preferências dos usuários (customização) e visando à eficiência energética e à redução do consumo de energia elétrica residencial. Esse sistema, acima de tudo, respeita as preferências dos usuários, que podem a qualquer momento “desabilitar” sua atuação automática selecionando a opção *Manual* na interface do sistema.

Além disso, é intuito desse capítulo apresentar detalhadamente o protótipo (hardware) desenvolvido e utilizado como controlador geral do sistema, o qual possui um conjunto de sensores, Arduinos e componentes necessários para a correta integração do sistema proposto.

4.1 Visão Geral do Sistema

No quadro abaixo, apresenta-se um diagrama geral ilustrando as entradas, os hardwares utilizados, onde ocorrerá o processamento e as saídas do sistema proposto. Como pode-se observar, os sensores são responsáveis por captar os dados provenientes do ambiente e enviá-los para os Arduinos que estão conectados via serial ao computador, que por sua vez, realiza o processamento dos dados e a partir do sistema nebuloso (Fuzzy) envia uma saída (ação) para a lâmpada dimerizável e para o condicionador de ar. Por questões de *desempenho* houve a necessidade de subdividir a arquitetura em dois Arduinos independentes.



Quadro 1 - Diagrama geral do controlador. Fonte: (Do autor, 2017).

Inicialmente, o sistema busca reconhecer os hardwares (Arduinos) por meio das portas seriais e, caso o sistema não obtenha sucesso no reconhecimento, não é executada nenhuma ação no ambiente. Já se o reconhecimento for bem sucedido, o sistema armazena uma variável denominada “ambiente”, que contém todos os dados captados pelos sensores e é constantemente atualizada. A partir dos dados coletados, criou-se uma rotina que a cada cinco segundos converte esses dados para uma base reconhecida pelo sistema nebuloso (Fuzzy), a fim de realizar as inferências necessárias referente ao valor ideal de intensidade de luz e temperatura “confortável” para o usuário.

Após essa rotina ser executada é disparada uma função responsável por “cuidar” do comportamento do usuário, ou seja, essa função busca todo o histórico das ações realizadas pelos usuários, referentes ao condicionador de ar, e em todas as condições atuais do ambiente, como visto no exemplo a seguir: normalmente o usuário sempre seleciona, no condicionador de ar, a temperatura de 22°C quando a

temperatura ambiente estava em 30°C, assim toda vez que o ambiente estiver nessa temperatura o sistema buscará as ações em que o usuário selecionou 22°C.

Posteriormente, a partir do histórico de presenças registradas, o sistema tenta identificar a possibilidade do usuário chegar nos próximos minutos em sua residência, configurado inicialmente em 20 minutos, assim, se o usuário possui presença e executa ações no condicionador de ar naquele período, o sistema executará a ação de ligar o ar. Vale ressaltar que o sistema sempre busca encontrar um equilíbrio entre os parâmetros de conforto térmico proposto pelo sistema nebuloso e o comportamento executado pelo usuário no condicionador de ar. Para isso, é realizado uma média simples entre os valores que o usuário configurou naquele determinado contexto mais o valor proposto pelo sistema nebuloso, dessa forma, quanto mais o usuário selecionar manualmente a temperatura desejada, mais rápido o sistema irá enviar a temperatura nos padrões que o usuário deseja.

O sistema proposto permite ao usuário realizar um menor esforço possível para efetuar a configuração inicial do sistema, bem como torná-lo capaz de cancelar qualquer decisão tomada pelo sistema através de dois modos de operação: “Automático” e “Manual”. No modelo automático, o sistema é responsável por prever as ações dos usuários, isto é, possui total controle sobre as ações realizadas na gestão da luminosidade e no controle do condicionador de ar. Já no segundo modelo o usuário dispõe de autonomia para configurar uma ação estática, a qual deve ser realizada manualmente, sendo que este deve ser priorizado em relação às decisões do sistema.

A fim de realizar as configurações gerais do sistema, é disponibilizada uma interface gráfica (web) para os usuários, conforme apresentada nas figuras a seguir. Por meio dessa interface é possível definir a forma de funcionamento do sistema (automático ou manual), estipular a temperatura de atuação do condicionador de ar, selecionar modos de operação do condicionador (ventilação e/ou swing) e determinar a porcentagem de luminosidade emitida pela lâmpada led (possível apenas no modo manual). Ao utilizar o sistema pela primeira vez, o usuário deve realizar um cadastro simples na interface descrita anteriormente, informando o seu nome, indicando o preço da energia elétrica local por kWh e o valor máximo de consumo de energia elétrica em reais que o usuário julga estar dentro do seu

orçamento financeiro. A partir dessas informações, é possível realizar as métricas e calcular o consumo de energia elétrica real durante um certo intervalo de tempo.

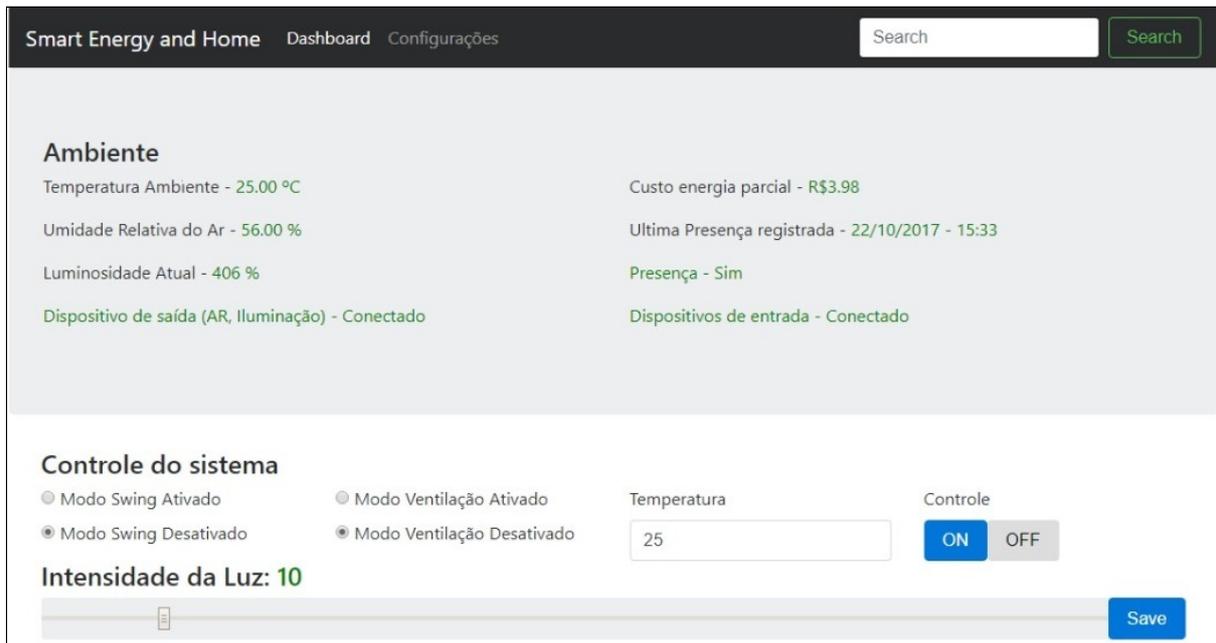


Figura 20 - Tela inicial do sistema. Fonte (Do autor, 2017).

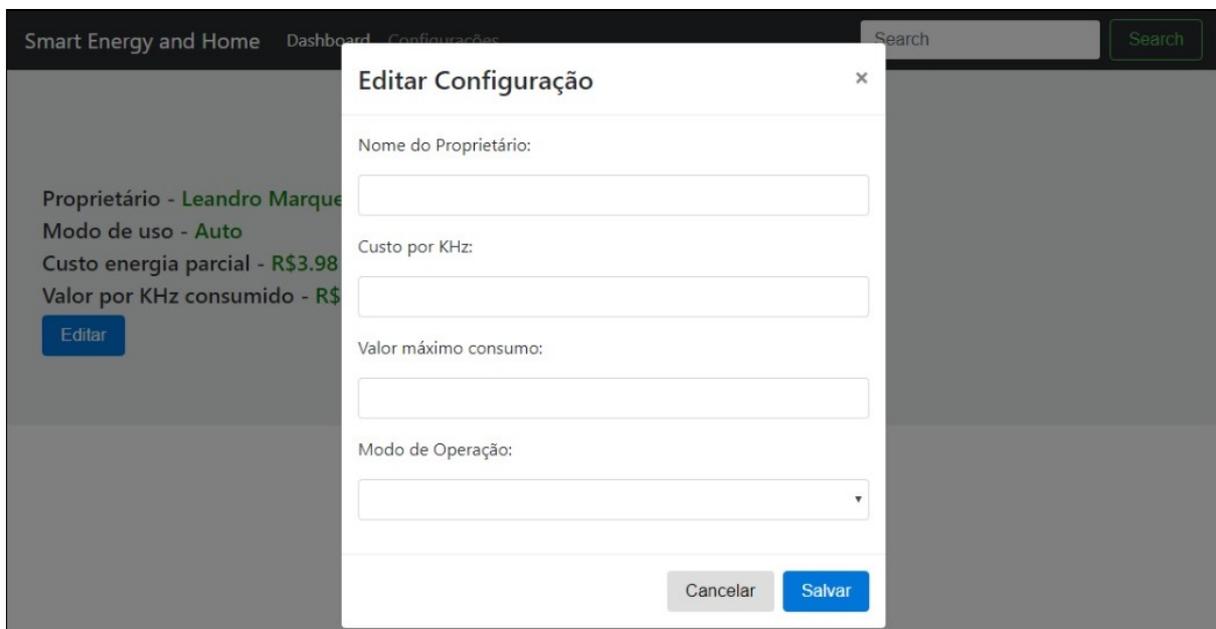


Figura 21 - Tela de configuração do sistema. Fonte (Do autor, 2017).

4.2 Controlador Nebuloso (Fuzzy)

Segundo Canato (2007), um dos principais meios para alcançar o consumo de energia elétrica, eficientemente, é a otimização de sistemas que utilizam dos dispositivos adequados capazes de gerir os gastos de eletricidade através de funções de regulação de intensidade ao considerar critérios como presença/ausência, hábitos, horários, etc. A partir disso, o sistema proposto nesse projeto utilizou como parâmetro uma lâmpada LED, comumente utilizada em residências, e um Condicionador de ar, visto que ambos podem ter sua intensidade regulada, possuem grande influência no gasto mensal a partir do seu uso indevido e o resultado prático alcançado a partir desses dois equipamentos elétricos poderá ser mais perceptível.

Um dos principais objetivos do sistema é “prever” as ações dos usuários a partir do histórico das ações executadas e antecipar as necessidades dos mesmos de acordo com as informações previamente coletadas. É objetivo também, utilizar o sistema de forma inteligente objetivando a eficiência energética dos dois equipamentos elétricos.

Para realizar o controle da intensidade de luz emitida pela lâmpada led utilizou-se o sensor de luminosidade (LDR). Esse sensor é responsável por coletar a intensidade da luz ambiente a partir da tensão detectada em seu pino, variando a faixa de intensidade detectada entre 0 a 1024. Através desse valor, foram definidos os conjuntos nebulosos para determinar os níveis de intensidade, que pode ir do muito claro ao muito escuro. Dessa forma, os valores de luminosidade controlados pelo sistema nebuloso, no caso das lâmpadas, devem variar dentro dessa faixa sendo compensados pela luz natural quando detectado que tais lâmpadas podem ser ajustadas para estar abaixo da sua potência total, conservando assim, a capacidade de utilização da iluminação ambiente e possibilitando amenizar o consumo de energia elétrica, bem como otimizar a eficiência energética do equipamento.

Em vista disso, primeiramente, foram definidas as seguintes variáveis linguísticas (inputs), utilizadas no processo de *Fuzzificação* do sistema nebuloso: *luminosidade*; *periodo_atual* e *ult_presenca_dia_atual*. Os conjuntos nebulosos

determinados para a principal variável ‘luminosidade’ foram: *Muito claro*; *Levemente claro*; *Neutra*; *Levemente escuro* e *Muito escuro* com seus respectivos universos de discurso, conforme a figura abaixo:

```
Muito_claro := (0,1) (250,0);
Levemente_claro := gauss 250 40;
Neutra := gauss 500 55;
Levemente_escuro := gauss 750 40;
Muito_escuro := (800,0) (1024,1);
```

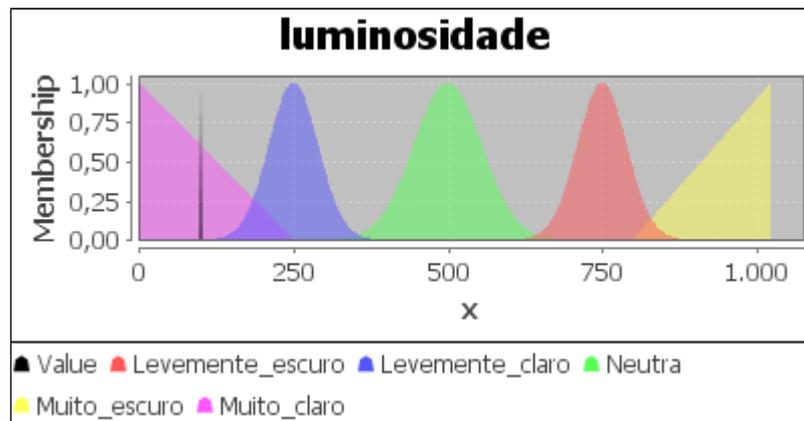


Figura 22 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável “Luminosidade”. Fonte (Do autor, 2017).

As variáveis ‘periodo_atual’ e ‘ult_presenca_dia_atual’ são utilizadas apenas para constatar a presença do morador no ambiente, como pode-se perceber no exemplo a seguir: Se o período atual registrado pelo sensor for início da manhã e a última presença do dia atual também for no início da manhã, pode-se concluir que o morador, provavelmente, está presente na residência naquele instante e o sistema iniciará o controle da intensidade da luz.

No entanto, se o sensor não detectar nenhuma presença do morador naquele instante não cairá em nenhuma regra e, conseqüentemente, o sistema não tomará nenhuma ação. Ambas as variáveis possuem os seguintes conjuntos nebulosos: *Madrugada*; *Início manha*; *Meio manha*; *Fim manha*; *Início tarde*; *Meio tarde*; *Fim tarde*; *Início noite*; *Meio noite*; *Fim noite*; *sem registro*. Em seguida, apresenta-se uma figura contendo os conjuntos nebulosos e seus respectivos universos de discurso (eixo X) para a variável ‘periodo_atual’.

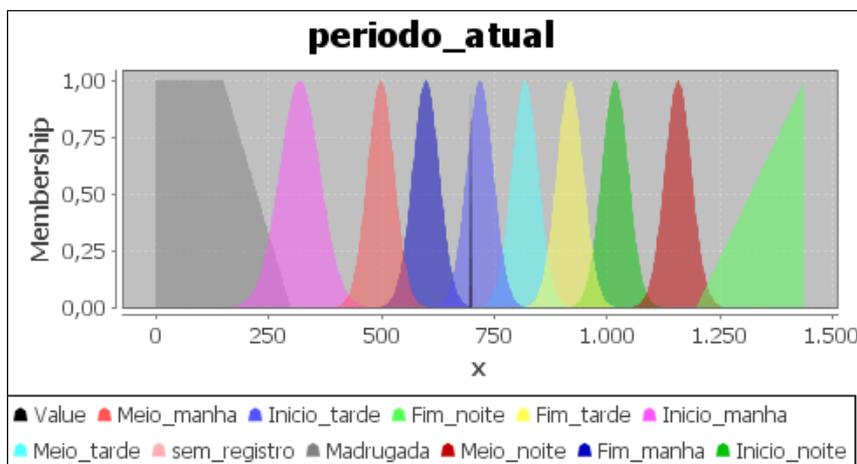


Figura 23 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável “período_atual”. Fonte (Do autor, 2017).

Após definidos os conjuntos de entrada do controlador (inputs) para realizar o controle da intensidade da luz, foram definidos os conjuntos nebulosos de saída (output) para realizar o processo de *Defuzzificação*. Assim, foi definida a variável “regula_intensidade_luz” e atribuído os seguintes conjuntos nebulosos para essa variável: *Intensidade muito baixa*; *Intensidade baixa*; *Intensidade media*; *Intensidade alta*; *Intensidade muito alta*, com seus respectivos universos de discurso, conforme a figura abaixo:

```

Intensidade_muito_baixa := (0,0) (25,1) (30,0);
Intensidade_baixa := gauss 35 4;
Intensidade_media := gauss 48 4;
Intensidade_alta := gauss 65 4;
Intensidade_muito_alta := (70,0) (100,1);

```

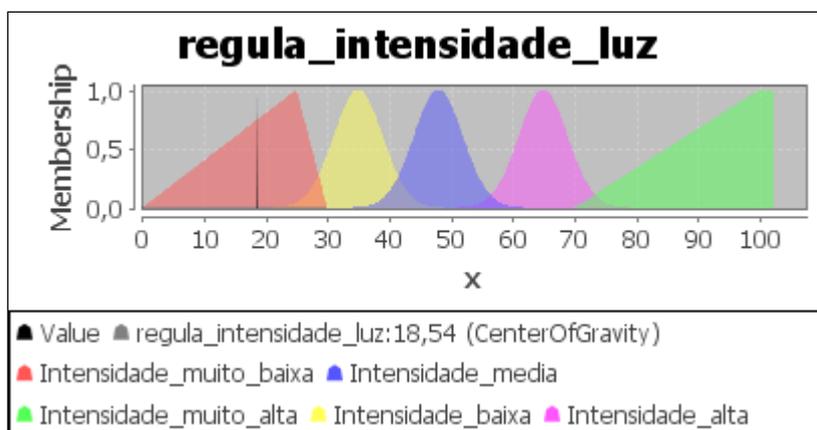


Figura 24 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável de saída “regula_intensidade_luz”. Fonte (Do autor, 2017).

Vale ressaltar que o método de Defuzzificação utilizado para a variável de saída *regula_intensidade_luz* foi o Center of Gravity (COG). O método COG calcula o output determinando o centro da área sob as funções de pertinência combinadas.

Por último, foi realizado o processo de *Inferência* dos sistemas difusos, ou seja a criação da base de regras gerada a partir dos conjuntos previamente definidos, as quais se baseiam nos graus de pertinência determinados pelas variáveis e nos graus de pertinência gerados no momento da fuzzificação. Nesse projeto foi utilizado o método de inferência de *Mamdani* (abordagem clássica), que consiste em regras do tipo se < condição > então < ação >.

A partir disso, foi estabelecida a base de regras para regular a intensidade da luz com base nos inputs. Na figura abaixo, apresentam-se três regras utilizadas para realizar o controle da intensidade, por exemplo. Na regra nº 1, pode-se concluir que: SE o morador estiver presente no local no início da manhã e a luminosidade ambiente estiver muito claro, ENTÃO o sistema regula a intensidade da lâmpada para muito baixa. No exemplo apresentado acima, conclui-se que o valor detectado pelo sensor de presença pertence ao conjunto *inicio_manha*, ou seja, o morador está presente naquele momento e o valor da luminosidade detectado pelo sensor LDR pertence ao conjunto *muito_claro*, dessa forma o sistema diminui a percepção da luminosidade da lâmpada.

```
RULE 1 : IF periodo_atual IS Inicio_manha AND ult_presenca_dia_atual IS Inicio_manha AND luminosidade
IS Muito_claro THEN regula_intensidade_luz IS Intensidade_muito_baixa;

RULE 2 : IF periodo_atual IS Meio_manha AND ult_presenca_dia_atual IS Meio_manha AND luminosidade
IS Muito_claro THEN regula_intensidade_luz IS Intensidade_muito_baixa;

RULE 3 : IF periodo_atual IS Fim_manha AND ult_presenca_dia_atual IS Fim_manha AND luminosidade IS
Muito_claro THEN regula_intensidade_luz IS Intensidade_muito_baixa;
```

Figura 25 - Regras utilizadas para a geração de uma ação na variável *regula_intensidade_luz*. Fonte (Do autor, 2017).

O segundo equipamento elétrico selecionado para realizar o controle inteligente por meio da lógica nebulosa (fuzzy), foi o condicionador de ar. Esse

controle é baseado nas médias de conforto somada às preferências do usuário e é realizado a partir das seguintes etapas: primeiramente, os sensores enviam os dados captados a partir do ambiente para que o sistema nebuloso proponha uma temperatura; posteriormente a aplicação buscará os dados das últimas ações (ventilação, swing, alteração de temperatura, ligar e desligar) realizadas pelos usuários manualmente no condicionador de ar, num intervalo de até 15 minutos posterior ao horário atual e nas quais as condições da temperatura ambiente também sejam iguais às do momento presente. Em seguida, realiza-se a média das temperaturas registradas utilizando também como um elemento da população (cálculo) a temperatura sugerida pelo sistema nebuloso. Por exemplo, em determinado período foram encontradas três amostras de registros manuais (16°, 18° e 20°C) nas quais as temperaturas ambientes eram as mesmas da atual e o sistema sugeriu 23°C, resultando numa média de temperatura de atuação final de 19 °C.

Assim, inicialmente, quanto mais o usuário utilizar o condicionador de ar e selecionar manualmente a temperatura desejável mais o sistema se aproximará da média ideal, de acordo com a frequência de registro de uma dada ação num dado registro ambiental, a qual determinará sua preferência. Posteriormente, a aprendizagem do sistema nebuloso dispensará a seleção manual das temperaturas, automatizando a climatização residencial de acordo com a preferência de cada usuário.

Como vantagens desse modelo, destacam-se: as temperaturas adaptam-se às ações do usuário ao longo do tempo; o fuzzy é utilizado apenas como um sistema especialista em regras para o ar, sem precisar se ocupar com os costumes do usuário e facilidade de observação e alteração do modo de operação ao longo do tempo.

Ao realizar o controle inteligente do condicionador de ar, busca-se tanto alcançar a eficiência energética quanto o conforto térmico do usuário, tendo em vista que cada morador possui suas próprias sensações de conforto. Sendo assim, o sistema visa respeitar as características de cada indivíduo.

O conceito de conforto térmico é essencialmente relativo. Devido às grandes variações individuais, fisiológicas e psicológicas não é possível determinar

condições que possam proporcionar conforto para 100% das pessoas. Em vista disso, utilizou-se como base o capítulo cinco da norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 16401-2 de 2008 responsável por especificar os parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de condicionadores de ar. Segundo essa norma, a sensação de conforto térmico está intimamente relacionada com a estação do ano (Inverno ou Verão), a temperatura e a umidade relativa do ar. Os parâmetros estipulados nesta norma definem o ambiente térmico em que uma maioria de 80% ou mais de pessoas são suscetíveis em expressar satisfação em relação ao conforto térmico. Visando alcançar o conforto térmico do usuário foi utilizada também, a tabela de Índice de temperatura-umidade (ITH) que é um avaliador de conforto humano, baseado nas condições de temperatura e umidade, conforme a imagem abaixo.

Temperatura		umidade Relativa (%)									
OF	OC	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
70	21,1	64	64	65	66	66	67	68	68	69	70
75	23,9	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
80	26,7	69	70	71	72	73	75	76	77	78	80
85	29,4	71	73	74	76	77	79	80	82	83	85
90	32,2	74	75	77	79	81	82	84	86	88	90
95	35,0	76	78	80	82	84	86	88	90	92	95
100	37,8	79	81	83	86	88	90	93	95	97	100
105	40,6	82	84	87	89	92	95	97	100	102	105

Legenda	
	Sensação de frio
	Nenhum desconforto
	Pequeno desconforto
	Desconforto considerável
	Grande desconforto
	Máximo desconforto

Tabela 2 - Relação entre Temperatura e Umidade com o conforto térmico. Fonte (Megaclima, 2017).

A partir disso, para realizar o controle do condicionador de ar foram definidas as seguintes variáveis linguísticas (inputs), utilizadas no processo de *Fuzzificação* do sistema nebuloso: *temperatura*, *umidade*, *estacao_do_ano* e *consumo*. Os conjuntos nebulosos determinados para a variável 'temperatura' foram *Muito frio*,

Levemente frio, Media, Levemente quente e Muito quente. Para a variável ‘umidade’ foram definidos os conjuntos *Baixa, Media, Alta e Muito alta.* Já para a variável ‘estacao_do_ano’ definiu-se os conjuntos *Verao e Inverno.* Por fim, para a variável ‘consumo’ foram definidos os seguintes conjuntos: *Muito baixo, Baixo, Moderado e Alto.*

Vale ressaltar que o input ‘consumo’ foi incluído entre os demais, pois o projeto possui também como objetivo reduzir o valor do consumo residencial de energia elétrica. Assim, caso o sensor de corrente identifique que o valor de consumo energético pertence ao conjunto nebuloso ‘Alto’, o sistema não tomará nenhuma decisão com o intuito de conservar energia.

As variáveis definidas acima possuem os respectivos universos de discurso, conforme as figuras abaixo:

```
Muito_frio := (-10,1) (8,0);  
Levemente_frio := gauss 7.5 2.5;  
Media := gauss 16 3;  
Levemente_quente := gauss 25 3;  
Muito_quente := (28,0) (50,1);
```

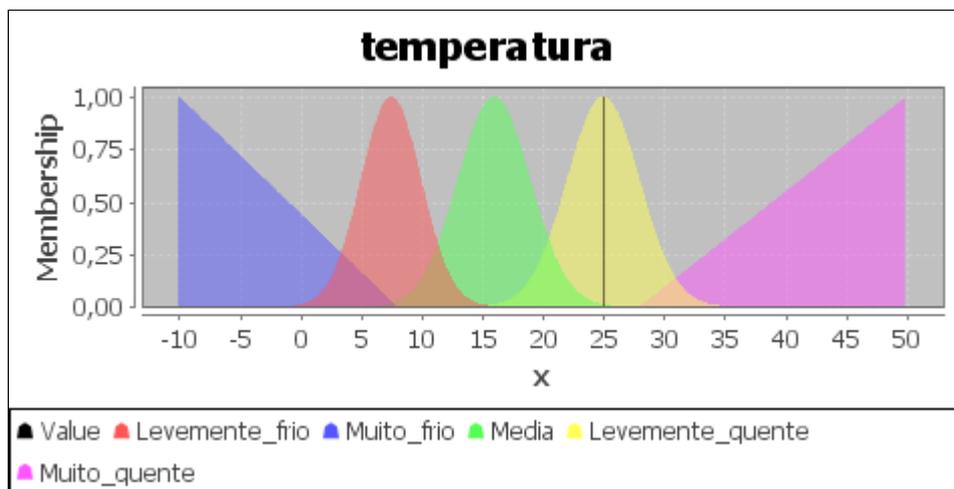


Figura 26 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável “temperatura”. Fonte (Do autor, 2017).

```

Baixa := (0,1) (30,0);
Media := gauss 38 5;
Alta := gauss 55 5 ;
Muito_Alta := (60,0) (100,1);

```

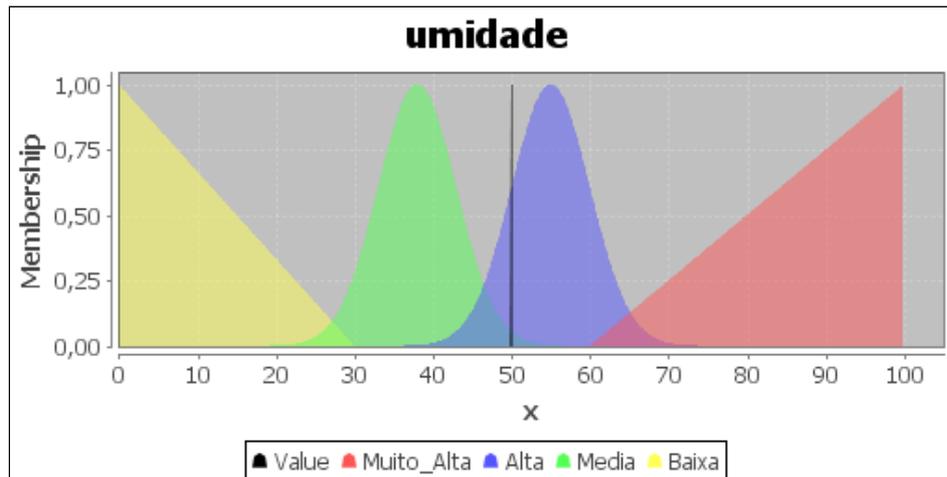


Figura 27 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável “umidade”.
 Fonte (Do autor, 2017).

```

Inverno := gauss 6.5 1;
Verao := (1,1) (2,1) (4,0) (9,0) (11,1) (12,1);

```

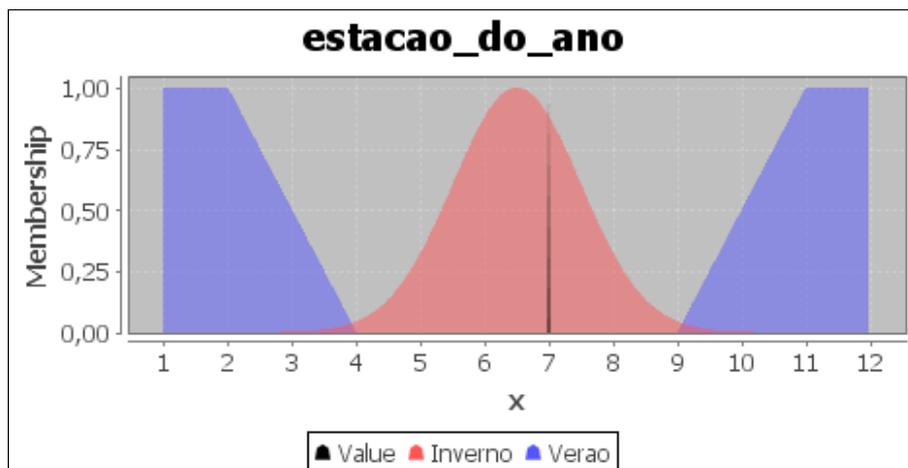


Figura 28 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável “estacao do ano”.
 Fonte (Do autor, 2017).

```

Muito_baixo := (0,1) (25,0);
Baixo := gauss 35 6;
Moderado := gauss 60 6;
Alto := (72,0) (100,1) (100,0);

```

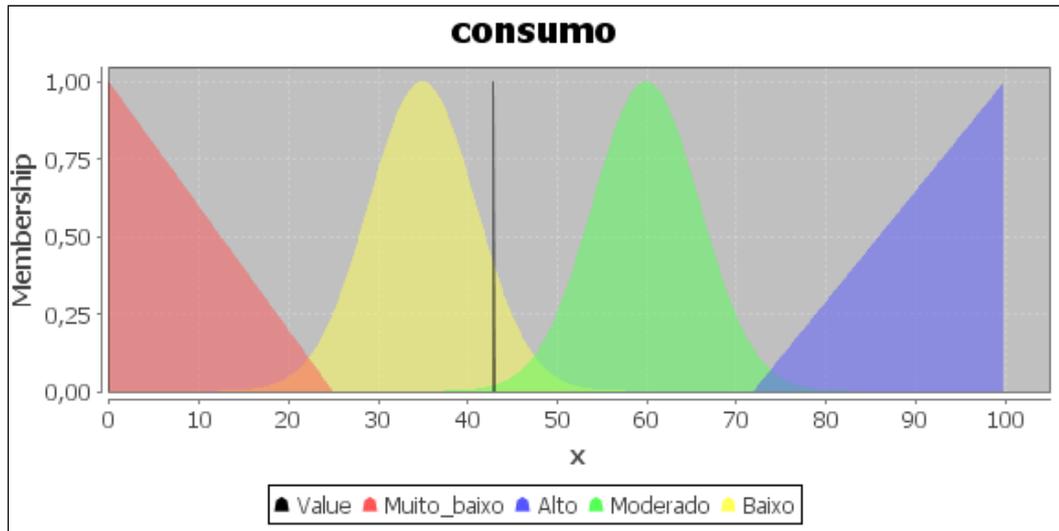


Figura 29 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável “consumo”. Fonte (Do autor, 2017).

Definidos os conjuntos de entrada (inputs) do controlador, foram também estabelecidos os conjuntos nebulosos de saída (outputs), para realizar o processo de *Defuzzificação*. Assim, foi definida a variável “*controle_ar*” e atribuídos a ela os seguintes conjuntos nebulosos: *Ar muito frio*, *Ar frio*, *Ar confortavel* e *Ar quente*, conforme seus respectivos universos de discurso, apresentados na figura abaixo:

```

Ar_muito_frio := (16,1) (18,0);
Ar_frio := gauss 18.5 1.2;
Ar_comfortavel := gauss 23 1.2;
Ar_quente := (24,0) (31,1);

```

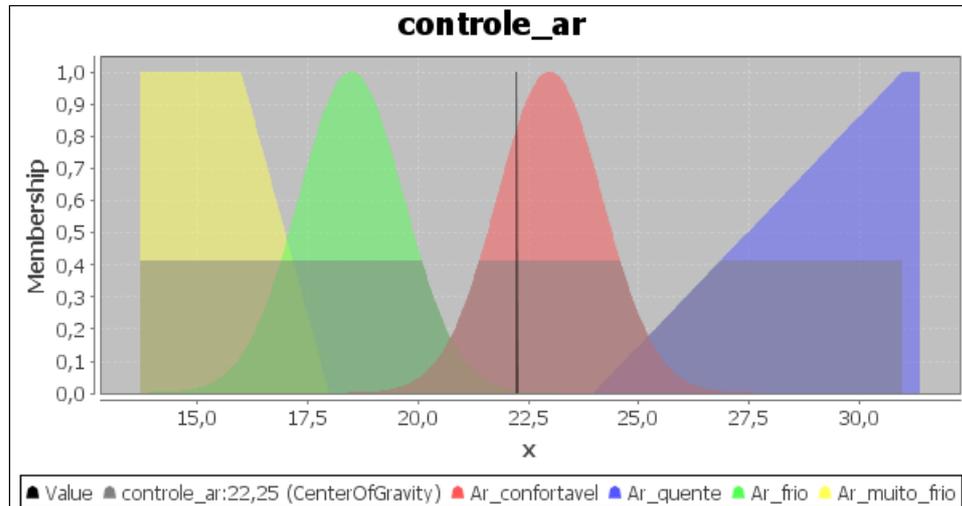


Figura 30 - Conjuntos nebulosos definidos para a variável de saída “controle_ar”.
Fonte (Do autor, 2017).

Assim, como na variável de saída (output) *regula_intensidade_luz*, o método de Defuzzificação utilizado foi o Center of Gravity (COG).

Por fim, foi realizado o processo de *Inferência* dos sistemas difusos, ou seja a criação da base de regras gerada a partir dos conjuntos previamente definidos, as quais se baseiam nos graus de pertinência determinados pelas variáveis e nos graus de pertinência gerados no momento da fuzzificação. A partir disso, foi definido a base de regras para controlar o condicionador de ar com base nos inputs.

Na figura abaixo, apresentam-se três regras utilizadas para realizar o controle inteligente do condicionador de ar. A partir da regra nº 1, chega-se à seguinte conclusão: SE a temperatura ambiente estiver muito fria, a umidade relativa do ar estiver alta e a estação do ano for verão, ENTÃO regula-se a temperatura do condicionador para ar quente. Vale ressaltar que, só foi possível chegar a essa conclusão a partir da definição de conforto térmico estabelecido pela norma ABNT e pelo Índice de temperatura-umidade. Ainda sobre a regra nº 1, conclui-se que o valor da temperatura ambiente detectada pelo sensor pertence ao conjunto nebuloso ‘Muito_frio’, o valor da umidade relativa identificada pertence ao conjunto ‘Alta’ e o valor (mês) da estação do ano pertence ao conjunto ‘Verão’. Dessa forma, a saída gerada pelo sistema aumentará a temperatura do condicionador de ar para um valor que pertence ao conjunto ‘Ar_quente’. Ao todo, foram necessárias quarenta regras para realizar o controle inteligente do condicionador de ar.

Vale ressaltar que as regras do sistema nebuloso foram definidas a partir das normas de conforto definidas pela ABNT, sendo estas estáticas. A aprendizagem e ajuste dos valores sugeridos, partem da média dos valores padrões ABNT e do algoritmo responsável pelos registros do ambiente e do comportamento do usuário.

```
RULE 1: IF temperatura IS Muito_frio AND umidade IS Alta AND estacao_do_ano IS Verao THEN controle_ar IS Ar_quente;  
RULE 2: IF temperatura IS Muito_frio AND umidade IS Muito_Alta AND estacao_do_ano IS Inverno THEN controle_ar IS Ar_confortavel;  
RULE 3: IF temperatura IS Muito_frio AND umidade IS Muito_Alta AND estacao_do_ano IS Verao THEN controle_ar IS Ar_confortavel;
```

Figura 31 - Regras utilizadas para a geração de uma ação na variável controle do ar.
Fonte (Do autor, 2017).

4.3 Componentes do hardware controlador

Nesse capítulo, apresenta-se o protótipo desenvolvido para o domínio desse projeto, bem como uma breve descrição dos sensores utilizados. Na figura a seguir, exhibe-se o protótipo elaborado responsável por realizar o gerenciamento dos sensores e enviar os dados coletados para o servidor de aplicação. Na parte interior da 'maleta', o protótipo é composto por dois Arduinos Uno, duas protoboards e um módulo Dimmer. Já na parte exterior, encontra-se um sensor de luminosidade, um sensor de temperatura/umidade, um sensor de presença/movimento, um sensor de corrente elétrica utilizado para medir quanto cada equipamento consome de energia elétrica, um led que simula o condicionador de ar e por fim, uma lâmpada led dimerizável utilizada para realizar o controle da intensidade da luz, localizada na parte de trás da 'maleta'.



Figura 32 - Protótipo desenvolvido. Fonte (Do autor, 2017).

4.3.1 Sensor de Temperatura/umidade

O sensor de temperatura e umidade utilizado nesse projeto foi o *DHT11*. A partir desse sensor é possível realizar leituras de temperaturas que variam entre 0° a 50°C e umidade relativa entre 20% a 90%. O *DHT11* é utilizado principalmente em projetos com Arduino. Abaixo, segue a especificação técnica referente a esse sensor.

- Modelo: DHT11
- Faixa de medição de umidade relativa: 20 a 90% UR
- Faixa de medição de temperatura: 0 a 50°C
- Corrente: 200uA a 500mA, em stand by de 100 uA a 150 uA
- Precisão de umidade de medição: $\pm 5,0\%$ UR
- Precisão de medição de temperatura: $\pm 2,0^\circ\text{C}$
- Tempo de resposta: 2s

A seguir, disponibiliza-se o link para o Datasheet (documento que apresenta de forma completa, todos os dados e características técnicas do equipamento): <[Datasheet](#)¹>. Abaixo, apresenta-se uma imagem do sensor utilizado nesse projeto:

¹ "DHT11." http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT11.pdf. Acessado em 24 jul. 2017.



Figura 33 - Sensor de Temperatura/Umidade. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

Como pode-se observar, o *DHT11* possui quatro terminais, sendo que somente três são utilizados: GND, VCC e Dados. A seguir, apresenta-se um exemplo do circuito montado:

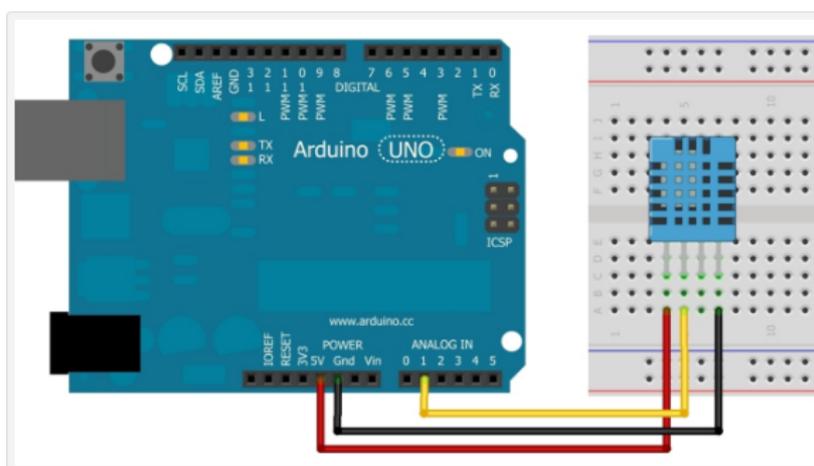


Figura 34 - Circuito sensor de Temperatura/Umidade. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

Vale ressaltar que, antes de executar o programa no Sketch do Arduino é necessário realizar o download da biblioteca que encontra-se disponível no link: <<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>>. Após realizado o download é necessário descompactar o arquivo .zip e mover o conteúdo para a pasta *arduinofolder/libraries/*. Após isso, é fundamental reiniciar a IDE (Sketch) do Arduino. O código fonte referente a esse sensor encontra-se disponível no link: <http://blog.filipeflop.com/sensores/monitorando-temperatura-e-umidade-com-o-sensor-dht11.html#_ga=2.96841756.2032424657.1499977080-2068437119.147808892>.

4.3.2 Sensor de Luminosidade

O sensor de luminosidade utilizado nesse projeto foi o *LDR* (Light Dependent Resistor). Esse sensor é um componente cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luz. Assim, quanto maior a incidência de luz sobre o componente, menor a resistência. Esse sensor é utilizado principalmente em projetos com Arduino e outros microcontroladores, como alarmes, automação residencial e sensores de presença. Abaixo, apresenta-se as especificações técnicas do *LDR*:

- Modelo: GL5528
- Diâmetro: 5mm
- Tensão máxima: 150 VDC (Voltage Direct Current)
- Potência máxima: 100 mW (Megawatt)
- Tensão de operação: -30°C a 70°C
- Resistência no escuro: 1 MΩ (Lux 0)
- Resistência na luz: 10-20 KΩ (Lux 10)

Link para o Datasheet: <[Datasheet](#)²>

Abaixo, apresenta-se uma imagem do LDR utilizado nesse projeto:



Figura 35 - Sensor de Luminosidade. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

² "CdS PHOTOCONDUCTIVE CELLS GL5528."

http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_LDR.pdf. Acessado em 24 jul. 2017.

A partir do entendimento básico do componente, foi possível realizar a montagem de um circuito que a partir da incidência de luz o led se apaga e ao cobrir o LDR o led se acende, conforme a imagem a seguir :

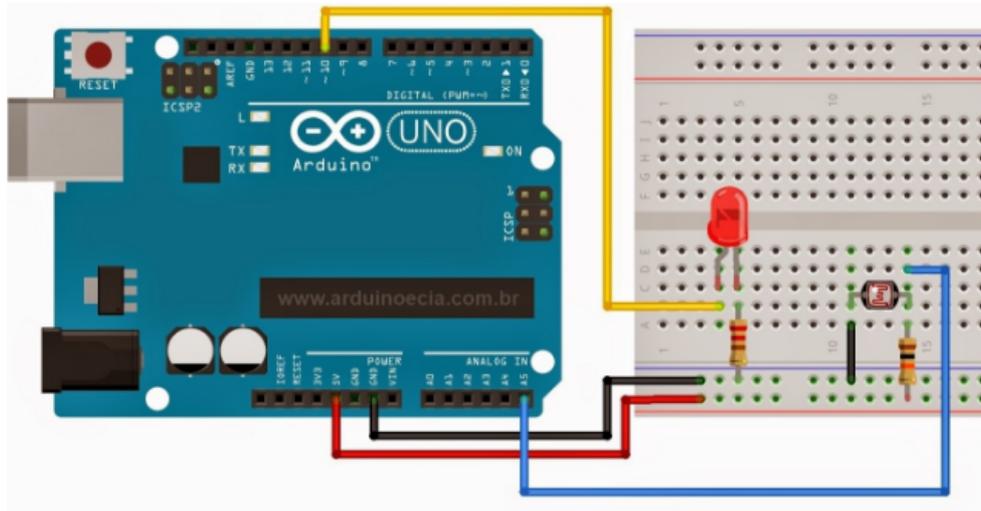


Figura 36 - Circuito para o sensor LDR. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

O programa fonte disponível no link abaixo, lê o valor da porta analógica (valor que varia entre 0 a 1024), verifica se esse valor é maior do que 800 (LDR encoberto) o que, conseqüentemente, acende o led. Nesse circuito, utilizou-se ainda, um resistor de 330 ohms para o led e um de 10K (1000 ohms) para o LDR. O código fonte referente a esse sensor encontra-se disponível no link a seguir: <<http://www.arduinoocia.com.br/2013/09/controle-de-luz-utilizando-ldr.html>>.

4.3.3 Sensor de corrente elétrica

O sensor selecionado para realizar a medição da corrente elétrica consumida pelos dispositivos foi o *100A SCT-013*. Esse sensor é baseado na ideia de não ser *Invasivo*, ou seja, consiste em uma alternativa mais simples para integração, pois não necessita realizar emendas na rede para inserir o sensor, apenas é necessário envolver um dos pólos que alimenta o dispositivo ao sensor, que já será suficiente para efetuar a leitura da corrente elétrica. Esse sensor possui as seguintes especificações técnicas:

- Modelo: SCT-013-000
- Corrente de entrada: 0 - 100 A (Ampère)
- Sinal de saída: Corrente/33 mA (miliAmpère)
- Dielétrico: 6000 V AC/1 min
- Temperatura de trabalho: -25° C / +70° C

Link para o datasheet: <Datasheet³>

Abaixo, apresenta-se uma imagem do Sensor de Corrente Não Invasivo 100A SCT-01:



Figura 37 - Sensor de Corrente. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017)

Para utilizar esse sensor é necessário um resistor de carga responsável por gerar a variação de tensão e efetuar a leitura. Para realizar a montagem do circuito é necessário utilizar os seguintes componentes:

- Sensor de Corrente SCT-013-000
- 2 resistores de 10K
- 1 resistor de 33 Ω (para o resistor de carga)
- Capacitor 10 μ F (micro Farad)

Abaixo, apresenta-se uma imagem do circuito completo montado:

³ "Page 1 Split-Core Current Transformer Model: SCT-013 Series"
<https://nicegear.co.nz/obj/pdf/SCT-013-datasheet.pdf>. Acessado em 24 jul. 2017.

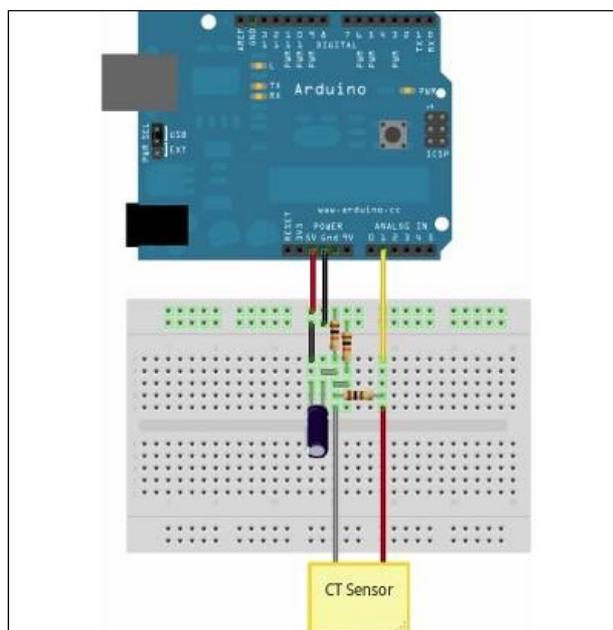


Figura 38 - Circuito para o sensor de corrente. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

Após o circuito e os componentes conectados, basta utilizar o código fonte disponível no link a seguir para efetuar a leitura da corrente:

http://blog.filipeflop.com/sensores/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino.html#_ga=2.257212040.2032424657.1499977080-2068437119.1478088924.

4.3.4 Sensor de Presença/Movimento

O sensor de movimento e presença utilizado nesse projeto foi o *PIR DYP-ME003*. Através desse sensor é possível detectar o movimento de pessoas e objetos que estejam em uma área de até sete metros de distância. Assim, caso algo ou alguém se movimente dentro dessa área o pino do alarme é ativado e detectado a presença. É possível, ainda, ajustar a duração do tempo de espera para estabilização do sensor e sua sensibilidade através de um potenciômetro localizado na parte inferior do sensor. Esse sensor possui as seguintes especificações técnicas:

- Modelo: DYP-ME003
- Sensibilidade e tempo ajustável

- Tensão de Operação: 4,5 - 20 V (volts)
- Tensão Dados: 3,3 V (Alto) - 0 V (Baixo)
- Distância detectável: 3 a 7 m (Ajustável)
- Tempo de Delay: 5 a 200 seg (Default: 5 seg)
- Tempo de Bloqueio: 2,5 seg (Default)

Link para o Datasheet: <[Datasheet](#)⁴>

Em seguida, apresenta-se uma imagem do sensor de movimento/presença utilizado nesse projeto:



Figura 39 - Sensor de movimento/presença. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

Para utilizar esse sensor é necessário conectar uma fonte de 5v ao GND e a porta VCC do Arduino. O pino “Dados” refere-se ao sinal de saída que será 'Alto' indicando movimento ou 'Baixo' indicando nenhuma movimentação. Em seguida, apresenta-se o circuito utilizado para acender um led (lâmpada) utilizando o sensor de movimento/presença.

⁴ "Specification of DYP-ME003 - Elecfreaks." 3 jun. 2011, <http://elecfreaks.com/store/download/datasheet/sensor/DYP-ME003/Specification.pdf>. Acessado em 24 jul. 2017.

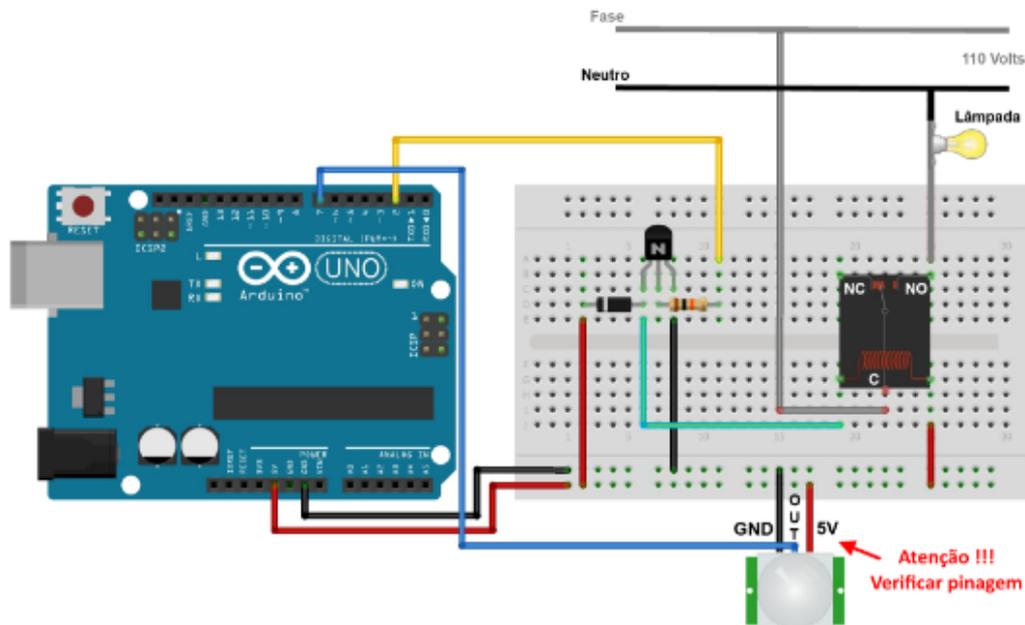


Figura 40 - Circuito sensor de movimento/presença. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

Após o circuito montado e os componentes conectados, para captar o movimento/presença utilizou-se o seguinte código fonte disponível no link a seguir: <http://blog.filipeflop.com/sensores/acendendo-uma-lampada-com-sensor-de-presenca.html#_ga=2.21462968.2032424657.1499977080-2068437119.1478088924>.

O código fonte disponibilizado acima, verifica se o pino 13 (entrada do sensor de movimento) foi acionado, ou seja, se está em estado alto (HIGH), e então aciona o pino 2 (saída para o relé), que por sua vez aciona o relé e acende o led (lâmpada).

4.3.5 Dimmer

Para realizar o controle da intensidade da luz emitida pela lâmpada, foi utilizado nesse projeto um módulo Dimmer, responsável por variar a intensidade da corrente elétrica média em uma carga. Assim, é possível realizar o controle da luminosidade em lâmpadas que variam gradativamente a quantidade de luz emitida em um ambiente. Esse dispositivo possui papel fundamental na economia de energia e na boa utilização da lâmpada, possibilitando determinar a quantidade de luz utilizada no decorrer do dia.

Em vista disso, foi utilizado nesse projeto o Dimmer *Pic MC-8A*. A partir desse componente é possível realizar o controle da quantidade de energia que é enviada para um dispositivo. Para efetuar esse controle, o equipamento possui em seu sistema um controlador *Triac BT137* integrado, utilizado para chavear a corrente alternada. Esse componente possui uma entrada e uma saída específica para corrente de 127V ou 220V, assim esse módulo é capaz de controlar a intensidade de lâmpadas dimerizáveis de uma forma prática e eficiente, aumentando ou diminuindo a faixa luminosa (USINAINFO, 2017).

A seguir, apresenta-se as especificações técnicas referente ao módulo Dimmer.

- Tensão para lâmpadas incandescentes: 127 V AC ou 220 V AC
- Tensão junto ao Arduino: 5 VDC
- Tensão entrada de disparo: DIM 5 V
- Resistor: 15 K (127 V) / 33 K (220 V)
- Potência: 880 W (127 V) / 1760 W (220 V)
- Corrente: 8 A

Link para o Datasheet: <[Datasheet](#)⁵>

Abaixo, apresenta-se o módulo Dimmer utilizado nesse projeto:

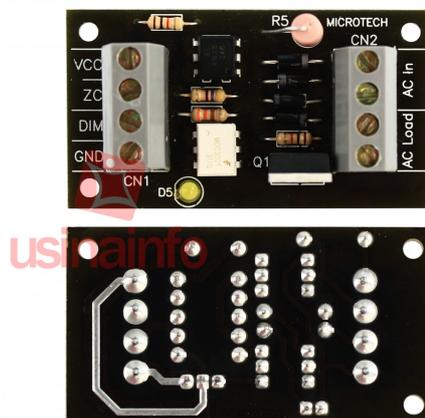


Figura 41 - Módulo Dimmer. Fonte: (USINAINFO, 2017).

⁵ "Usinainfo: Datasheet Dimmer."

http://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=71. Acessado em 24 jul. 2017.

Vale ressaltar que o Arduino não opera diretamente com cargas AC (Corrente Alternada) e nem com essa faixa de tensão, o que torna-se necessário utilizar um circuito externo para complementá-lo, ou seja, o dimmer precisa se adequar à tensão elétrica residencial (127 ou 220V). Abaixo, apresenta-se o circuito completo do módulo utilizado:

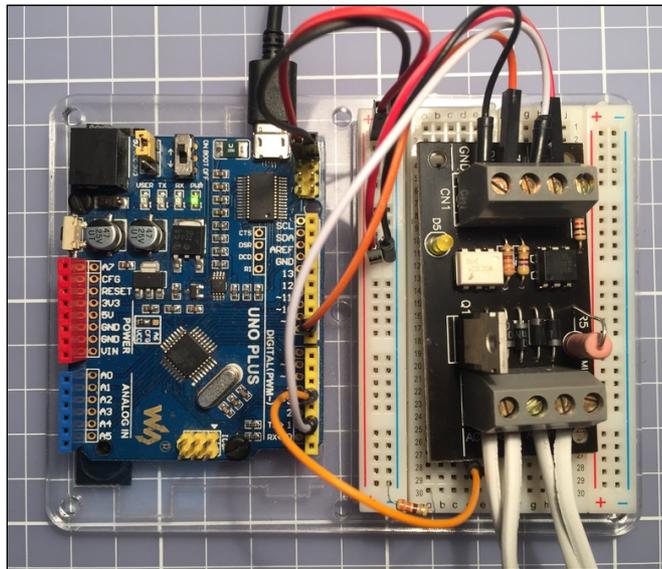


Figura 42 - Arduino + Módulo Dimmer. Fonte: (BR-ARDUINO, 2017).

O código fonte utilizado para realizar o teste de controle da intensidade da lâmpada dimerizável, encontra-se disponível no link a seguir:

<<http://br-arduino.org/2016/03/arduino-triac-dimmer.html>>

4.3.6 Led Infravermelho Emissor

O Led infravermelho emissor que seria utilizado nesse projeto é o *IR 940nm*. No entanto, não foi possível utilizá-lo, pois não foi encontrado a partir das pesquisas realizadas os códigos hexadecimais do fornecedor necessários para controlar o condicionador de ar. Esse sensor pode ser programado para enviar sinais codificados em conjunto com microcontroladores como Arduino, PIC (microcontrolador) e Raspberry Pi. No contexto desse projeto, esse sensor será utilizado para controlar a temperatura e demais parâmetros do condicionador de ar, para tal, será utilizado um receptor infravermelho que será responsável por

decodificar o sinal enviado pelo controle do ar, podendo a partir dos códigos obtidos replicá-lo utilizando o emissor. Em seguida, apresenta-se a especificação técnica referente a esse sensor:

- Emissor IR 940 nm
- Tensão de operação: 1.2 a 1.4 V
- Comprimento de onda: 940 nm (Nanômetro)
- Terminais: 2

Abaixo, apresenta-se uma imagem do sensor *IR 940 nm*:



Figura 43 - LED Emissor Infravermelho IR 5mm. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

4.3.7 Led Infravermelho Receptor

O receptor infravermelho que seria utilizado nesse projeto é o *KY-022*. No entanto, não foi possível utilizá-lo, pois não foi encontrado a partir das pesquisas realizadas os códigos hexadecimais do fornecedor necessários para controlar o condicionador de ar. Esse receptor é responsável por decodificar o sinal enviado pelo controle do ar, podendo a partir dos códigos obtidos replicá-lo utilizando o emissor. O módulo contém um receptor IR 1838 que funciona com tensões entre 2,7 e 5,5V comunicando-se com o microcontrolador por meio de um único pino de sinal. Esse sensor possui as seguintes especificações técnicas:

- Módulo Receptor IR
- Alimentação: 2.7 à 5.5 V DC

- Frequência de operação: 38 KHz
- Ângulo de detecção: 90°

Abaixo, apresenta-se uma imagem do sensor *IR KY-022*:



Figura 44 - LED receptor Infravermelho IR KY-022. Fonte: (FILIPEFLOP, 2017).

5. Testes

Finalizado o desenvolvimento do sistema, foram definidos alguns cenários de testes para efetuar as análises necessárias e comprovar a eficiência e a eficácia do sistema proposto. Primeiramente, para realizar o teste do condicionador de ar, foram utilizadas duas tecnologias distintas de condicionadores: Split e Inverter.

O condicionador Split consiste em um sistema de refrigeração similar aos equipamentos do tipo “janela” (mais antigos), sendo composto por dois módulos, denominados unidade interna (evaporadora) e unidade externa (condensadora). Essas partes são unidas através de tubulações de cobre responsáveis pela passagem do gás refrigerante e do dreno. O dreno é necessário para que aconteça o escoamento da água da evaporadora, que ocorre devido a condensação da umidade do ambiente interno. Nesse sistema, quando a temperatura desejada é alcançada é realizada uma leitura através de um sensor localizado no evaporador que, por sua vez, desliga o compressor permitindo o equipamento manter a temperatura. Qualquer variação na temperatura estipulada aciona-se (liga) novamente o compressor que é responsável pela circulação do gás refrigerante dentro do sistema. Assim, como a potência do compressor não varia o

condicionador de ar é ligado e desligado constantemente, o que ocasiona picos no consumo de energia e temperatura.

Já no sistema Inverter, realiza-se o controle da velocidade do compressor, ou seja, não é necessário desligá-lo completamente e, desta forma, não ocorrem picos de consumo de energia. Como o próprio nome sugere, esse sistema *inverte* a frequência que controla a velocidade de compressão do ar. Sendo assim, quanto menos calor for necessário retirar do ambiente, menor será a velocidade do compressor e vice-versa. Por funcionar dessa maneira, um condicionador de ar Inverter consome em média cerca de 60% menos energia quando comparado ao modelo split (tradicional). Além disso, como o compressor está sempre em ação, não há oscilações na temperatura e, conseqüentemente, o conforto térmico do usuário é mantido. Abaixo, apresenta-se uma tabela com as principais diferenças entre a tecnologia Split e Inverter.

	Ar Condicionado Inverter	Ar Condicionado Comum
Consumo energético	Economiza até 60% de energia, já que o compressor aumenta e diminui a rotação gradativamente	Compressor liga e desliga constantemente, gerando picos de energia
Controle de temperatura	Atinge a temperatura desejada rapidamente e a mantém estável, sem oscilação entre calor e frio	Tem maior variação de temperatura, pois o compressor só volta a trabalhar depois que o ambiente está quente
tipo de gás	Usa gás ecológico, que não prejudica a camada de ozônio	Usa o gás comum (R-22)
Emissão de ruído	Mais silencioso, pois o compressor trabalha em baixa rotação quando estabiliza a temperatura, diminuindo o ruído da condensadora	Compressor costuma fazer mais barulho ao ligar e desligar
Durabilidade	Menor durabilidade, pois o desgaste do compressor é evitado, uma vez que o motor não fica ligando e desligando o tempo todo	Menor durabilidade por causa do trabalho pesado do compressor

Tabela 3 - Diferenças entre o condicionador Inverter e o Tradicional. Fonte (Zoom, 2017).

5.1 Condicionador de ar Split convencional

Para o condicionador de ar do tipo *Split* convencional (Philco PH12000TQFM6), foi definido um cenário de teste com valores predeterminados realizado no dia 17/10/2017 com início às 17 horas. Com o intuito de demonstrar a eficiência do sistema desenvolvido, mantendo as mesmas configurações de valores, foram realizados tanto testes sem a utilização do sistema inteligente quanto com a utilização do modelo proposto para, assim, efetuar comparações entre ambas as formas de teste.

Como não foi possível obter os códigos hexadecimais do fornecedor para realizar o controle do condicionador de ar através dos sensores infravermelhos (emissor e receptor), não será controlado efetivamente o condicionador de ar, apenas serão realizadas *simulações*, ou seja, conforme as sugestões do sistema serão manualmente selecionadas no condicionador de ar.

Vale ressaltar que a grande vantagem proposta pelo sistema é a de ligar o condicionador de ar numa temperatura considerada confortável para o usuário e fazê-lo antecipadamente a sua chegada à residência, proporcionando maior comodidade para ele assim que adentre o recinto e permitindo que o condicionador de ar já esteja chaveando (ligando e desligando) seu compressor ou esteja muito próximo de chavear, possibilitando a diminuição do consumo de energia elétrica.

O cenário de teste definido para o condicionador de ar Split, sem a utilização do sistema nebuloso, é descrito da seguinte maneira: temperatura ambiente de 27°C; temperatura definida pelo usuário para o condicionador de ar de 16°C; e o intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado em 16°C é de 1 hora. Considerando tal cenário, foi mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e precificado esse consumo durante o intervalo de tempo de 1 hora e com a temperatura do condicionador de ar em 16°C, através de um sensor de corrente elétrica.

Já com a utilização do sistema nebuloso o cenário de teste manterá a mesma temperatura ambiente. Nesse teste, será utilizado a temperatura de conforto térmico do usuário que é 24°C, assim o condicionador de ar será ligado diretamente em 24°C e o intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado nessa temperatura é de

1 hora. Nesse cenário, também será mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e precificado esse consumo durante esse intervalo de tempo para que, posteriormente, seja possível comparar os valores de consumo de cada teste, verificando se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada. Após a coleta de todos os valores, será possível obter métricas que ajudem na construção de um cálculo (algoritmo) mais preciso referente ao tempo ideal para ligar o condicionador de ar antes do usuário chegar na residência, garantindo economia de energia elétrica e conforto térmico ao usuário.

5.2 Condicionador de ar Inverter

Para o condicionador de ar do tipo Inverter (Philco PH9000IQFM), assim como para o Split convencional, também foi definido um cenário de teste realizado no dia 18/10/2017 com início às 17:30h, porém contendo valores diferentes do cenário apresentado anteriormente. Com o intuito de demonstrar a eficiência do sistema desenvolvido, também com o Inverter foram realizados tanto testes sem a utilização do sistema inteligente quanto com a utilização do modelo proposto.

Para o condicionador de ar Inverter, também não foi possível obter os códigos hexadecimais do fornecedor para realizar o controle do condicionador de ar através dos sensores infravermelhos (emissor e receptor), assim não será controlado efetivamente o condicionador de ar, apenas serão realizadas simulações, ou seja, conforme as sugestões do sistema serão manualmente selecionadas no condicionador.

Vale ressaltar, assim como destacado na tecnologia convencional, que a grande vantagem proposta por esse sistema é a de ligar o condicionador de ar numa temperatura considerada confortável para o usuário e fazê-lo antecipadamente a sua chegada à residência, proporcionando maior comodidade e permitindo que o condicionador de ar já esteja realizando o controle da potência do seu compressor ou esteja muito próximo disso.

O cenário de teste definido para o condicionador de ar Inverter, sem a utilização do sistema nebuloso, possui a seguinte configuração: temperatura ambiente de 23°C; temperatura definida pelo usuário para o condicionador de ar de

16°C; e o intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado em 16°C é de 1 hora. Considerando tal cenário, será mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e precificado esse consumo durante o intervalo de tempo de 1 hora e com a temperatura do condicionador de ar em 16°C, através de um sensor de corrente elétrica.

Já com a utilização do sistema nebuloso, a temperatura ambiente será de 25° e a temperatura de conforto térmico do usuário de 23°C, assim o condicionador de ar será ligado diretamente em 23°C durante 1 hora, intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado nessa temperatura. Nesse cenário, também será mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e precificado esse consumo durante esse intervalo de tempo para que, posteriormente, seja possível comparar os valores de consumo de cada teste, verificando se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada.

5.3 Controle Inteligente da Iluminação

A partir de uma limitação detectada durante a fase de testes no sensor de corrente elétrica, responsável por efetuar a medição do consumo da energia elétrica, não foi possível realizar testes e obter valores reais tanto sem a utilização do sistema inteligente quanto com a utilização do modelo proposto para efetuar comparações entre ambas as formas de testes.

Ao realizar os testes, identificou-se que a lâmpada led dimerizável utilizado no protótipo possui apenas 10 Watts, uma potência considerada muito baixa. Assim, como a lâmpada consome pouca energia devido a baixa potência o sensor de corrente não consegue efetuar a leitura da corrente elétrica consumida durante os testes, considerando que o sensor utilizado (SCT-103 20A) apresenta uma *limitação* na sua capacidade de realizar medições precisas de pequenos valores de corrente. Nesse sensor, potências pequenas geram uma tensão que dificilmente podem ser medidas, além disso é extremamente vulnerável a ruídos de circuito e externos. Sendo assim, esse sensor é adequado principalmente para cargas maiores. Além disso, o Dimmer utilizado nesse projeto, responsável por realizar a redução da tensão média da rede elétrica enviada para um dispositivo eletrônico, nesse caso a

lâmpada led, trabalha numa frequência de cerca de seis microsegundos por período o que impossibilita o leitor de corrente efetuar a leitura, tendo em vista que esse sensor não opera nessa frequência.

Apesar de não ser viável efetuar testes reais, é possível a partir de pesquisas e estudos realizados analisar a eficiência do sistema proposto. O controle realizado para regular a luminosidade emitida pelas lâmpadas led é efetuado 'automaticamente' através do sistema nebuloso (Fuzzy), ou seja, o sensor de luminosidade detecta a luz natural (ambiente) o que permite ao sistema, através das regras desenvolvidas, propor uma luminosidade adequada para a lâmpada. Ao ligar uma lâmpada comum que possui apenas duas fases (ligado e desligado) sempre utiliza-se a sua máxima intensidade de brilho (potência) em todas os horários do dia, o que acaba aumentando o consumo de energia elétrica. Já com o modelo proposto, a lâmpada led utilizará apenas a intensidade (potência) necessária, diminuindo a sua potência o que, conseqüentemente, diminui o consumo de energia elétrica bem como, aumenta a sua vida útil, já que não opera sempre na potência máxima.

A seguir, apresenta-se uma figura que ilustra a quantidade média de energia economizada, de acordo com a redução da intensidade do brilho (potência) de uma lâmpada led dimerizável:

Quantidade de brilho reduzida	Economia de energia	Aumento da vida útil da lâmpada
10%	10%	2 – 3 vezes
25%	20%	3 – 6 vezes
50%	40%	mais de 10 vezes

Tabela 4 - Comparação entre o brilho emitido pelas lâmpadas com a economia de energia elétrica.
Fonte: (Bluelux, 2016).

Pode-se perceber a partir do estudo realizado pela empresa Bluelux, que com a utilização do Dimmer é possível obter redução no consumo de energia elétrica aumentando, também, a eficiência energética das lâmpadas led. Sendo assim, é possível concluir que o sistema proposto possibilita melhorar tanto a eficiência

energética quanto diminuir o consumo de energia elétrica das lâmpadas utilizadas nas residências.

6. Resultados

A partir das definições dos cenários, foram realizados os testes referentes ao controle inteligente do condicionador de ar, obtendo-se alguns resultados que serão apresentados durante o decorrer deste capítulo. Conforme mencionado no capítulo anterior, não foi possível realizar o teste real do controle da intensidade de luz emitida pela lâmpada led dimerizável em virtude de limitações identificadas no sensor de corrente, o que impossibilitou a leitura da corrente elétrica na lâmpada.

Primeiramente, apresentam-se os resultados obtidos durante os testes no condicionador de ar do tipo *Split* convencional (12000 BTUs/h). Nesse cenário foram definidos dois testes: um sem a utilização do sistema e o outro com a utilização do sistema, visando verificar a quantidade de energia elétrica consumida e o valor referente a este consumo, a fim de realizar comparações e aferir se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada. No primeiro teste, sem o uso do sistema, com o condicionador de ar ligado em 16°C durante 1 hora de teste, obteve-se um consumo de energia elétrica total de *1,41 kWh*, o que precificado equivale a *R\$0,72* por hora. Para alcançar esse resultado, realizou-se o seguinte cálculo: (soma da potência elétrica identificada a cada segundo durante 1 hora / 360 segundos) / 1000 = kWh consumido. Para realizar a precificação, multiplicou-se o valor obtido em kWh no cálculo anterior pelo custo de 1 kWh da energia local. Com isso, obteve-se o preço final por hora.

No segundo teste, utilizando-se o sistema proposto, o condicionador de ar permaneceu ligado durante 1 hora na temperatura de conforto térmico do usuário, que nesse contexto foi de 24°C. Após esse intervalo de tempo, obteve-se um consumo de energia elétrica total de *0,58 kWh*, o que equivale a *R\$0,29* por hora. Como no teste anterior, realizou-se o mesmo cálculo para chegar a esse resultado, sendo que a diferença entre os valores precificados nos testes foi de *R\$0,43*.

A partir dos resultados apresentados anteriormente, pode-se concluir que, ao utilizar o sistema proposto na tecnologia Split convencional, foi possível obter a diminuição do consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, aumentar a eficiência energética da instalação sem alterar o conforto do usuário. Isso ocorreu devido ao seguinte fato: ao selecionar a temperatura de 16°C no condicionador de ar, visto que a temperatura ambiente estava em 27°C, o tempo necessário para essa temperatura alcançar a selecionada é muito maior e, dessa forma o condicionador de ar fica constantemente atuando em sua potência máxima, o que ocasionou um consumo maior de energia elétrica. Já ao ligar o condicionador de ar diretamente na temperatura confortável de 24°C, o tempo necessário para alcançá-la, visto que a temperatura ambiente também estava em 27°C, foi menor, o que permitiu que o condicionador de ar desligasse seu compressor e, conseqüentemente, diminuísse o consumo de energia elétrica. Destaca-se que o condicionador de ar Split possui um sensor de temperatura embutido, assim, ao identificar que a temperatura ambiente aumentou, o compressor é novamente acionado e, apesar do pico de energia necessário para realizar esse chaveamento (ligar/desligar), é possível notar os ganhos obtidos no consumo de energia elétrica.

Portanto, a grande vantagem proposta pelo sistema é a de ligar o condicionador de ar numa temperatura considerada confortável para o usuário e fazê-lo antecipadamente a sua chegada à residência, proporcionando maior comodidade para ele assim que adentre o recinto e permitindo que o condicionador de ar já esteja chaveando (ligando e desligando) seu compressor ou esteja muito próximo de chavear, possibilitando a diminuição do consumo de energia elétrica. Obviamente, a eficiência do sistema dependerá muito da rotina de cada usuário e como este realiza as ações no seu condicionador de ar.

Finalizado os testes no condicionador de ar Split, iniciou-se os testes na tecnologia Inverter (9000 BTUs/h). Assim como para o Split convencional, foram definidos dois ensaios, um sem a utilização do sistema e o outro com a utilização do sistema, para que fosse possível realizar comparações entre ambos e aferir se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada.

No primeiro teste, sem o uso do sistema, com o condicionador de ar ligado em 16°C durante 1 hora de teste, obteve-se um consumo de energia elétrica total de

0,78 kWh, o que resultou em R\$0,40 centavos por hora. Para alcançar esse resultado realizou-se o cálculo apresentado anteriormente.

Já ao utilizar o sistema proposto, o condicionador de ar permaneceu ligado durante 1 hora na temperatura de conforto térmico do usuário, que nesse contexto foi de 23°C. Após esse intervalo de tempo, obteve-se um consumo de energia elétrica total de 0,59 kWh o que equivale a R\$0,30 centavos por hora. Como no teste anterior, realizou-se o mesmo cálculo para chegar a esse resultado e a diferença entre os valores precificados nos dois testes foi de R\$0,10 centavos.

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que ao utilizar o sistema proposto na tecnologia Inverter, ainda que a diferença de valor entre os dois testes tenha sido menor do que no Split, foi possível obter a diminuição do consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, aumentar a eficiência energética do sistema sem alterar o conforto do usuário. Provavelmente, esse valor aumentará, conforme o sistema seja utilizado por um longo período de tempo.

Diferentemente da tecnologia Split convencional, o Inverter não desliga completamente seu compressor ao atingir a temperatura ambiente selecionada, realizando apenas o aumento/diminuição da potência do compressor, o que não gera picos de energia e, conseqüentemente, diminui o consumo de energia elétrica conforme apresentado nos resultados dos testes realizados.

Novamente, observa-se que ao ligar o aparelho antecipadamente faz com que a carga térmica no ambiente seja removida até o ambiente atingir uma temperatura de conforto, proporcionando o bem-estar desejado pelo usuário. Quando o usuário liga manualmente o aparelho de condicionador de ar, é normalmente selecionado um valor de temperatura abaixo do recomendado por desejar que a sensação de calor seja eliminada rapidamente. Porém, a potência do compressor na partida do sistema é semelhante (conforme observado através da corrente elétrica medida durante o teste). O que impacta no consumo de energia é o tempo que o compressor permanecerá ligado até atingir a temperatura desejada: quanto mais baixa, maior o tempo ligado. Assim, o sistema inteligente elimina a componente emocional do usuário, proporcionando maior eficiência energética à instalação. Abaixo, apresenta-se uma tabela com os resultados obtidos a partir dos testes:

	Sem Sistema Proposto após 1 hora	Com Sistema Proposto após 1 hora
CONDICIONADOR DE AR SPLIT	1,41 kWh R\$0,72 centavos	0,58 kWh R\$0,29 centavos
CONDICIONADOR DE AR INVERTER	0,78 kWh R\$0,40 centavos	0,59kWh R\$0,30 centavos

Tabela 5 - Resultados finais obtidos para o controle dos condicionadores de ar. Fonte: (Do autor, 2017).

7. Considerações Finais

Nesse capítulo são apresentadas as conclusões do projeto desenvolvido até o momento e as recomendações para a continuidade dos trabalhos nesta área de estudo.

O presente trabalho teve como principal objetivo permitir, de maneira inteligente, o aumento da eficiência energética dos equipamentos e a diminuição do consumo de energia elétrica em residências, sem alterar radicalmente a rotina e o conforto dos usuários. Dessa forma, após efetuadas pesquisas e estudos referentes ao tema, decidiu-se por realizar a automação de dois equipamentos utilizados em grande parte das residências no Brasil: lâmpadas led e condicionador de ar.

No primeiro equipamento, lâmpadas LED, buscou-se realizar o controle automático da intensidade de luz emitida, que, a partir da luminosidade ambiente detectada pelos sensores, aumenta ou diminui sua potência, permitindo a diminuição do consumo energético e o aumento da eficiência energética da mesma. Para o condicionador de ar, um dos equipamentos responsáveis por grande parte do consumo residencial, buscou-se uma alternativa para transformar essa realidade. Assim, foi criado um controlador inteligente que, a partir das ações do usuário (histórico), permite realizar o acionamento do condicionador de ar com antecedência à chegada do usuário à residência, a fim de que, ao adentrar o lugar, a temperatura já esteja confortável e os condicionadores de ar já estejam realizando o chaveamento e a diminuição da potência do compressor, ou estejam próximo de realizá-lo, possibilitando a diminuição no consumo de energia elétrica.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram encontradas algumas dificuldades como, por exemplo, a obtenção de estudos precisos referentes ao tema eficiência energética aplicada à residências; a compreensão de termos, a aplicabilidade e o funcionamento da lógica nebulosa (fuzzy); a localização de fornecedores que possuíssem todos os equipamentos necessários para a montagem do protótipo; a ausência de conhecimento, principalmente em hardware, para realizar a correta montagem do protótipo e, conseqüentemente, realizar a integração dos componentes; e o conhecimento insuficiente de conceitos, funcionalidades e aplicabilidade em elétrica e eletrônica, áreas extremamente importantes para o desenvolvimento desse projeto. No entanto, apesar de todas as dificuldades mencionadas, através de constantes pesquisas, estudos e auxílio de pessoas mais experientes na área, foi possível a conclusão desse projeto.

Em função das dificuldades encontradas, bem como do limite de tempo para a finalização do projeto, o aprimoramento da solução desenvolvida ficou impossibilitado. Nesse sentido, aponta-se a necessidade de que trabalhos futuros desenvolvam uma funcionalidade que armazene o comportamento do condicionador de ar em relação ao ambiente e verifique quanto tempo o condicionador leva para atingir a temperatura desejada pelo usuário, levando em conta os dados do ambiente. Através dessa funcionalidade, será possível determinar com maior exatidão o tempo necessário que deve-se acionar o condicionador de ar antes que o usuário chegue a sua residência. No momento, o sistema não contém nenhum cálculo (algoritmo) que realize essa previsão, assim, a descoberta desse intervalo de tempo "ideal" pode ser realizada a partir de repetidos testes. Recomenda-se também incorporar ao sistema um algoritmo de aprendizagem mais sofisticado, utilizando, por exemplo, o sistema neuro-fuzzy que, para Babuska e Verbruggen (2003), permite realizar a combinação entre a semântica transparente dos sistemas difusos, baseada em regras, com a capacidade de aprendizado das redes neurais artificiais. Além disso, como não foi possível realizar o controle real do condicionador de ar, executado apenas por simulação, recomenda-se obter através das empresas fabricantes de condicionadores de ar, os códigos hexadecimais necessários para realizar tal controle. É indicado também que, na interface gráfica disponibilizada para os usuários, desenvolvam-se relatórios para que os usuários possam

acompanhar o status de consumo dos equipamentos elétricos, bem como a previsão de gastos mensais. Por fim, sugere-se a busca por alternativas que permitam a realização do teste referente ao controle inteligente da lâmpada led, o qual, conforme descrito anteriormente, não pôde ser efetivado neste projeto. Uma possibilidade de cenário para efetivação do teste de consumo da lâmpada led pode ser descrita da seguinte forma: mensura-se o consumo de energia elétrica durante 24h sem a utilização do sistema proposto e, pelo mesmo intervalo de tempo, mensura-se o consumo com a utilização do sistema. Posteriormente, realizam-se comparações entre os valores de consumo de cada forma de teste para verificar ou não a eficiência do sistema.

Após os testes realizados, conclui-se que os resultados alcançados a partir da utilização do sistema proposto foram satisfatórios quando comparados aos resultados alcançados sem a utilização do sistema, mesmo não sendo possível comprovar em valores reais a economia utilizada na iluminação, pode-se afirmar, conforme descrito no capítulo 5.3, que é possível economizar até 60% em energia elétrica apenas controlando a intensidade de luz emitida pela lâmpada led, ou seja, o consumo tende a diminuir, significativamente. O sistema proposto nesse projeto pode, a partir de adaptações, ser aplicado a outros equipamentos elétricos utilizados nas residências, propiciando assim, o aumento da eficiência energética e a diminuição do consumo de energia elétrica, fundamental para a atual realidade energética enfrentada no Brasil. Esse sistema contribui também, consideravelmente, para famílias que possuem baixa renda econômica, que através de um baixo investimento é possível automatizar os equipamentos elétricos, diminuindo as despesas com energia elétrica e, conseqüentemente, contribuindo para a conservação energética.

Por fim, pode-se afirmar que o sistema desenvolvido nesse projeto poderá, considerando-se as recomendações anteriores para seu aperfeiçoamento, ser aplicado não somente à residências, mas também a outros âmbitos como, por exemplo, empresas, indústrias e nas atuais smart cities.

Referências

- AMIM, S. M.; WOLLENBERG, B. F. **Toward a smart grid**. IEEE Power and Energy Magazine, v. 3, n. 5, p. 34-38, sep.-oct. 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Sistema de Apoio à Decisão (SAD)**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>>, acessado em 18/06/2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), “RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 502, DE 7 DE AGOSTO DE 2012”.
- ABRAHAM, A. **Neuro fuzzy systems: state of the art modeling techniques**. Lecture Notes in Computer Science. v.2084, p. 269-276, 2001.
- A. G. C. THOME. **Inteligência Artificial - Redes Neurais**. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Núcleo de Computação Eletrônica, 2002.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2007: Ano Base 2006**. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2008: Ano Base 2007**. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2008a.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético**. Portaria n 36 de 26/11/2008, In: Diário Oficial da União, n 232, Seção 2, pp. 56, 28 de novembro de 2008, ISSN 1677-7050. 2008b.
- BABUSKA, R.; VERBRUGGEN, H. **Neuro fuzzy methods for nonlinear system identification**. Annual reviews in control, Kidlington, v. 27, n. 1, p. 73-85, 2003.
- CLEMENTS-CROOME, Derek (Ed.). **Intelligent buildings: design, management and operation**. Thomas Telford, 2004.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **O que é Smart Grid?**. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/sites-tematicos/smart-grid/Paginas/default.aspx>>, acessado em 18/06/2017.
- D, GANN, “**Inside the Smart Home**”, Springer- Verlag London Limited, 2003, PAG. 299, 229.
- DUDA, R. O. **Pattern Classification 2/E**. New York, NY:Wiley Interscience, 2000.
- ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Pesquisa de Posse de

Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005 – Classe Residencial – Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

GELLER, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

GOMES, M. **Conceitos, referências e programações básicas com Arduino**. Assessoria de Inclusão Digital SMED, Porto Alegre - RS, 2014.

HINES, J. W. **Fuzzy and Neural Approaches in Engineering**. Wiley, New York, 1997.

HAYKIN, S. **Neural Networks: a comprehensive foundation, 2/E**. New York, N.Y.: Printice House, Inc., 1999.

JUNGES, L. **Introdução a Lógica Fuzzy**. Artigo apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

JANG, J.S.R. **Anfis: Adaptative-network-based fuzzy inference system**. In: **IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics.**, 23, (3): 665-685, 1993.

JANG, J.S.R;SUN, C.T; MIZUTANI, E. **Neuro fuzzy and soft computing**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2 edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

MARTINS, R.; MENEGUZZI, F. **A smart home model using JaCaMo framework**. In: Industrial Informatics (INDIN), 2014 12th IEEE International Conference on. IEEE, 2014.

MALUTTA, C. **Método de apoio à tomada de decisão sobre adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina,2004.

MULLER, B., REINHARDT, J.. **Neural newtorks: an introduction**. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 1990.

MITRA,S.;HAYASHI,Y. **Neuro-fuzzy rule generation: survey in soft computing framework**. In: IEEE Transactions on Neural Networks, v11, 3, p. 748-768,2000.

National Institute of Standards and Technology (NIST), “**Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap**”, Contract No. SB1341-09-CN-0031, junho de 2009. PROCEL. **Selo PROCEL**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7D>>. Acessado em: 14 junho de 2017.

PEREIRA, D. C. **Casa eficiente : consumo e geração de energia**. Florianópolis: UFSC/ LabEEE; 2010.

PEREIRA, L. S. **MEDIDOR INTELIGENTE PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO. CAMPINAS, 2016.

PATSKO, F. L. **Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Instrumentação eletrônica, MaxwellBohr, 2006.

SOUSA, J.; SOUSA, A. **Desenvolvimento de um sistema Fuzzy embarcado para controle de iluminação**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática Belo Horizonte, MG, 20 a 24 de Setembro de 2014.

SOUZA, F. **Arduino UNO**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acessado em 22/06/2017.

SOUZA, F. **Modelos Neuro-Fuzzy Hierárquicos**. Tese de Doutorado, Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica – RJ, Rio de Janeiro, 1999.

SANTOS, D. B. **Procedimento para a construção dos conjuntos fuzzy utilizados em controladores Semafóricos**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SHING, J. and JANG, R. **ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system**. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, 23(3):665-685,1993.

TOLMASQUIM, M. **As Origens da Crise Energética Brasileira**. Ambiente & Sociedade – Ano III – n 6/7 – 1 Semestre de 2000 / 2 Semestre de 2000.

THOMSEN, A. **O que é Arduino?**. Disponível em:<<http://blog.filipeflop.com/arduino/o-que-e-arduino.html>>. Acessado em 22/06/2017.

Takagi, T.; Sugeno, M. **Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 15(1): 116– 132, 1985.

WENDLING, M. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Versão 2.0, 2010.

Wang, L. X. **A course in fuzzy systems and control**, Prentice Hall PTR, 1997.
WERBOS, P. **Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences**. 1974. 906 f. Thesis (Doctor – PHD)- Harvard University, Harvard, 1974.

APÊNDICE(S):

APÊNDICE A - Artigo sobre o TCC

Automação residencial para conservação e eficiência energética por meio de técnicas de Inteligência artificial

Jheimmys Goulart Toggweiler, Leandro da Silva Marques

Curso bacharelado em Sistemas de Informação
Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, SC – Brasil
jheimmysgoulart@gmail.com, leandro1992@gmail.com

Abstract

This article has as main objective to present the process of development of a system that automates energy resources used by the residential electrical equipments. For this purpose, diffuse logic (Artificial Intelligence technique) is used, which from an initial set of data and pattern recognition will make decisions and thus, adapt to the customs of the users. It is also the intention of this system to perform the automatic activation of the air conditioner at room temperature based on the regular time of presence recognition, as well as the custom of each user to turn on the equipment and the current temperature of the medium. In addition, this system aims to perform intensity control and even turn off the lighting if necessary.

Resumo

Este artigo tem como principal objetivo apresentar o processo de desenvolvimento de um sistema que realiza a automação dos recursos energéticos utilizados pelos equipamentos elétricos residenciais. Para tal fim, utiliza-se a lógica difusa (técnica de Inteligência artificial), que a partir de um conjunto inicial de dados e reconhecimento de padrões toma decisões e assim, adapta-se aos costumes dos usuários. É intuito desse sistema também, realizar o acionamento automático do condicionador de ar em temperatura ambiente baseado nos horários regulares de reconhecimento de presença, bem como o costume de cada usuário em

ligar o equipamento e a temperatura atual do meio. Além disso, esse sistema visa realizar o controle da intensidade e até mesmo o desligamento da iluminação, caso necessário.

1. Introdução

No momento presente a energia é um insumo praticamente indispensável na sociedade contemporânea, através dela foi possível avançar na automatização de processos em diversas áreas de conhecimento. No Brasil, a energia elétrica teve seu primeiro marco em 1879 quando Dom Pedro II permitiu que Thomaz Edison (Inventor, cientista e empresário), pusesse aparelhos elétricos para iluminação pública e desde então iniciou-se uma série de eventos, como a criação de hidrelétricas e estações para produção e distribuição de energia no país.

Constantemente as cidades utilizam-se da rede elétrica para iluminação pública e privada, no entanto, com a desenfreada utilização da mesma em poucos anos poderá ocasionar um problema de abastecimento, pois não houve ao longo do tempo, um planejamento baseado no uso dos recursos energéticos dos equipamentos e como estes são utilizados, nem uma política de conscientização sobre o uso da energia efetiva. Nesse sentido, o projeto visa contribuir com técnicas para melhorar a gestão desses recursos e ajudar na disseminação de uma cultura que compreenda que os recursos energéticos são limitados.

Em vista disso, o projeto busca formas de gerenciar esses recursos de forma automatizada e inteligente. Atualmente, a automação é baseada na execução de uma ação de acordo com a ocorrência de um determinado evento, não adequando-se em contextos que não possuem claramente definidas as variáveis dependentes para a tomada de uma decisão. Sendo assim, foi identificada a necessidade de produzir algo mais ‘inteligente’ que pudesse realizar associações com outras informações de forma que não fosse necessário prever todas as possibilidades de imediato.

Existem, hoje, diversos algoritmos que são utilizados para implementar uma inteligência artificial, pois como em uma inteligência humana, normalmente dispõe-se de informações de entrada para tomada de uma decisão, porém, antes de tudo, é necessário ter como premissa uma base para relacionar a informação com uma possível ação ou coletar a informação para tentar correlacionar com novas informações que são recebidas. Assim, com uma IA não é diferente, é indispensável especificar o que ela deve aprender, e em qual contexto ela deve ser capaz de tomar decisões próprias.

Nesse projeto, será utilizada uma técnica conhecida como *lógica nebulosa (fuzzy)*, que diferentemente da Lógica Booleana (clássica) que admite apenas valores booleanos, ou seja, verdadeiro ou falso, a lógica difusa, trata de valores que variam entre 0 e 1. Sendo assim, uma pertinência de 0,5 pode representar meio verdade, logo 0,9 e 0,1, representam “quase verdade” e “quase falso”, respectivamente (SILVA, 2005).

A utilização de energia tem se intensificado desde os primórdios da Revolução Industrial e é essencial para o correto funcionamento dos mais diversos setores e atividades da sociedade. Sendo assim, a maioria dos equipamentos de edificações residenciais, comerciais e públicas dependem da energia elétrica, propriamente dita, para o seu funcionamento ideal.

Considerando sua relevância para o desenvolvimento mundial, nos últimos anos, o uso de fontes não renováveis de energia elétrica tem se tornado motivo de grande preocupação. Segundo Geller (2003), tanto as fontes energéticas de outrora quanto as tendências atuais na utilização de energia não são e dificilmente serão sustentáveis nos próximos anos. Além disso, o autor ressalta que o consumo global de energia aumentou cerca de dez vezes desde o século XX, sendo que a maior parte dessa energia provém de fontes não renováveis. O Brasil segue a mesma tendência e apresentou um aumento de, aproximadamente, 250% entre os anos de 1975 e 2000, o qual está relacionado, principalmente, ao avanço da industrialização e à crescente expansão de serviços energéticos residenciais e comerciais (GELLER, 2003).

Considerando tal necessidade, iniciou-se uma crescente busca por eficiência energética, tendo em vista não apenas questões relacionadas à economia, mas também à qualidade do ambiente residencial para os clientes e à redução de impactos ambientais. Para Lamberts et al. (2004), um edifício pode ser considerado energeticamente mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto ao seu usuário com menor consumo de energia. Segundo Oliveira e Sá Júnior (1998), o rápido e desordenado crescimento da produção e do consumo energético pode implicar em sérios impactos ambientais e, sendo assim, algumas medidas deveriam ser tomadas pelas autoridades e órgãos competentes a fim de conscientizar a população acerca dos riscos de um consumo desenfreado e sobre os benefícios da utilização eficiente dos recursos energéticos.

Sendo assim, será desenvolvido nesse projeto uma solução inteligente para realizar a otimização da utilização dos recursos energéticos, pois entende-se que gerando uma cultura

que saiba utilizar a energia elétrica com responsabilidade e sem gerar impacto elevado no “dia-a-dia” do usuário, pode-se obter um impacto muito positivo na sociedade, permitindo amenizar os problemas de abastecimento, principalmente em épocas de maior demanda. Além disso, visa propiciar às pessoas a terem um controle maior e mais preciso sobre seus gastos, uma conscientização maior sobre o desperdício e possivelmente possibilitando uma economia de recursos financeiros.

2. Trabalhos Correlatos

2.1 Lógica fuzzy aplicada ao controlador de velocidade de uma linha de montagem de eixos de veículos

O artigo de autoria de Sérgio Roberto Pinton e Wilton Ney do Amaral, tem como principal objetivo apresentar a utilização e a conceituação da lógica difusa (fuzzy), a partir do controle de velocidade de um motor de corrente contínua, utilizado para aplicação em tratores.

A lógica difusa aplicada ao contexto deste projeto foi utilizada tanto na velocidade quanto no tempo, possibilitando o aumento da produção, a redução de tempo e muitas vezes a redução de custos. Segundo os autores, a estruturação do conjunto difuso foi definida a partir da multivalência de todos os tempos de montagens, para isso foi realizada uma atribuição de pertinência a todos os tempos de produção para qualquer sequência de produtos em operação.

Assim, com base nessas premissas foram definidas duas regras. A primeira regra, *investigação do tempo de montagem - limite momentâneo*, foram considerados dois aspectos técnicos do processo de produção, o primeiro foi o ajuste da velocidade de arraste da linha de montagem, já o segundo tem como referência os tempos de montagens de eixos. O objetivo desta regra é adotar o maior tempo de montagem da sequência de eixos, provendo uma redução no tempo do gargalo de produção geral que normalmente é de 5 a 6 minutos. Com base na distribuição dos tempos foram estabelecidas as faixas de variações para a formação das variáveis linguísticas, conforme a imagem a seguir:

Faixa de variação do tempo de montagem			Variável linguística	Código
g mínimo	g médio	g máximo		
5,4	5,6	5,8	Longo	L
5,1	5,3	5,5	Meio Longo	ML
4,8	5,0	5,2	Médio	M
4,5	4,7	4,9	Curto	MC

Figura 1 - Faixas de variação dos tempos. Fonte: (PINTON; AMARAL, 2012).

Já a segunda regra, *flexibilização do tempo de produção em função de rendimento humano*, consiste em alternar a velocidade durante os turnos de trabalho. Este procedimento foi efetuado durante algumas vezes nos turnos de trabalho, alterando a velocidade com base apenas na rotina e identificando o grau de saturação dos montadores diante das atividades a serem realizadas dentre os diferentes lotes de eixos a serem montados. Na figura abaixo, apresenta-se o nível de rendimento entre as horas de uma jornada de trabalho:

Faixa de variação do rendimento				Variável linguística
Faixa	r mínimo	r médio	r máximo	
r_1	85%	95%	>95%	Alto
r_2	75%	85%	95%	Ótimo
r_3	65%	75%	85%	Médio
r_4	>65%	65%	75%	Baixo

Figura 2 - Conversão dos valores lógicos em linguísticos. Fonte: (PINTON; AMARAL, 2012)

Na última etapa do sistema difuso, foi realizado o processo de *defuzzificação* gerando os dados através dos resultados das conversões das pertinências. Pode-se observar que alterando os ajustes das velocidades do motor da linha de montagem, obteve-se uma redução na velocidade de 17% em função da redução do tempo de 0,9 min. Em seguida, os autores demonstram as possíveis combinações dos valores de tempos após a aplicação da regra geral. Pode-se observar o valor de 4,13 min.

Regra 1 Tempo do gargalo momentâneo	Regra 2 - Rendimento			
	95%	85%	75%	65%
5,60	4,13	4,61	5,23	6,03
5,30	3,91	4,36	4,95	5,71
5,00	3,68	4,12	4,67	5,38
4,70	3,46	3,87	4,39	5,06

Figura 3 - Aplicação da regra geral. Fonte (PINTON; AMARAL, 2012)

Por fim, os autores afirmam que para este modelo de controle uma melhoria poderá ser efetuada, a implementação da lógica Neuro-Fuzzy, para a coleta dos tempos de montagem e assim definir os valores de ajustes na regra n°1, bem como para o rendimento humano da regra n°2, automaticamente, estabelecendo a inteligência artificial.

2.2 Learning and Adaptive Fuzzy Control System for Smart Home

O projeto desenvolvido por Antti-Matti Vainio, Miika Valtonen e Jukka Vanhala, tem como principal objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema de automação residencial adaptativo ao comportamento dos usuários, possibilitando alterar a tomada de decisão do sistema a partir de cada tipo de comportamento previamente mapeado.

Além disso, é intuito deste sistema possibilitar ao usuário o menor esforço possível em sua configuração inicial, bem como torná-lo capaz de cancelar qualquer decisão tomada pelo sistema através de dois modos de operação: o autônomo e o baseado em eventos. No modelo autônomo o sistema possui total controle sobre as ações realizadas na gestão da iluminação. Já no segundo modelo, baseado em eventos, o usuário possui autonomia para configurar uma ação estática, a qual deve ser realizada a partir de um comportamento pré-configurado, sendo que este deve ser priorizado em relação às decisões do sistema.

O sistema proposto foi desenvolvido utilizando a lógica difusa pelas inúmeras vantagens para o uso desse conceito para a área de automação. Para o projeto em questão os autores optaram por utilizar como parâmetro as lâmpadas de uma residência, visto que o resultado prático alcançado a partir delas é mais perceptível. Os conjuntos difusos foram definidos a partir das variáveis implementadas no algoritmo difuso (fuzzy), assim, o sistema

aprende a partir das ações executadas pelos usuários e antecipa as necessidades dos mesmos de acordo com as informações previamente coletadas.

Segundo os autores, no desenvolvimento do sistema não foram definidas pré-configurações ou regras iniciais, tendo em vista que cada usuário possui hábitos muito particulares, ficando a cargo do próprio sistema identificar os hábitos de forma autônoma. Outra justificativa para esta decisão se baseia no fato de que os hábitos e rotinas dos usuários se alteram ao longo do tempo, o que poderia ocasionar problemas caso fossem definidas regras iniciais para o sistema.

2.3 Desenvolvimento de um sistema Fuzzy para controle de Iluminação

O projeto desenvolvido por Jerônimo Sousa e Aldir Sousa, tem como objetivo principal realizar o controle da luminosidade por meio de um controlador através da lógica difusa, mantendo-se a eficiência e a eficácia da aplicação.

Os autores justificam o uso da lógica difusa no desenvolvimento do projeto baseado no controle do consumo de eletricidade e, conseqüentemente, de propiciar uma maior eficiência energética no âmbito residencial. Ainda segundo os autores, com a utilização da lógica difusa será possível definir intervalos dentro de determinados conjuntos e também possibilitar o controle da intensidade de luz entre diversas faixas de luminosidade, propiciando um uso mais eficiente da energia elétrica. Para comprovar a eficiência e a eficácia do sistema difuso, os autores realizam neste projeto testes comparativos entre o consumo de energia do sistema tradicional (on/off) e o do sistema difuso.

De acordo com os autores, a principal desvantagem na utilização de sistemas baseados em controladores on/off, consiste na impossibilidade deste tipo de sistema regular a luminosidade em faixas intermediárias entre o ligado e o desligado. Assim, em dias muito claros não seria possível fazer proveito da luz natural controlando a potência da lâmpada para que não emita sua capacidade total de iluminação, causando o desperdício de energia.

Os autores desenvolveram o circuito de gerenciamento a partir de um Arduíno que “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 afetá-lo por meio do controle de luzes, motores e outros atuadores” (SOUSA & SOUSA, 2014). Além disso,

utilizou-se o sensor fotoresistor LDR (light dependent resistor), 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, sendo que quanto maior for a intensidade luminosa menor será a sua resistência elétrica.

Por fim, os autores concluem o artigo reafirmando a adequação do protótipo desenvolvido para a otimização do uso de energia elétrica, assim como sua utilidade para a economia de eletricidade, uma vez que ele pode ser adaptado para uso em sistemas de automação residencial, contribuindo dessa forma com o consumo sustentável dos recursos energéticos. Os autores apontam ainda que, para a aplicação do protótipo em ambientes de maior escala, o hardware e o software desenvolvidos devem ser adaptados, o que poderá ser efetivado através de futuros trabalhos sobre o tema.

3. Proposta do Projeto

Como proposta desse projeto, foi realizado o controle inteligente de dois equipamentos elétricos utilizando-se como base uma técnica de inteligência artificial, conhecida como lógica Nebulosa (Fuzzy). Assim, optou-se por controlar dois equipamentos utilizados em grande parte das residências no Brasil: a Lâmpada LED e o Condicionador de ar.

No primeiro equipamento, lâmpada LED, buscou-se realizar o controle automático da intensidade de luz emitida, tendo como base de ajustamento a intensidade da luminosidade do ambiente sem que essa mudança de intensidade se faça perceptível para os usuários. Dessa forma, é possível aumentar ou diminuir a potência das lâmpadas LED de forma automática, possibilitando diminuir o consumo de energia elétrica e o aumento da eficiência energética da mesma.

Para o condicionador de ar, um dos equipamentos responsáveis por grande parte do consumo residencial foi criado um controlador inteligente que, a partir das ações do usuário (histórico), permite realizar o acionamento do condicionador de ar com antecedência à chegada do usuário à residência, a fim de que, ao adentrar o lugar, a temperatura já esteja confortável e os condicionadores de ar já estejam realizando o chaveamento e a diminuição

da potência do compressor, ou estejam próximo de realizá-lo, possibilitando a diminuição no consumo de energia elétrica.

4. Testes

Finalizado o desenvolvimento do sistema, foram definidos alguns cenários de testes para efetuar as análises necessárias e comprovar a eficiência e a eficácia do sistema proposto. Primeiramente, para realizar o teste do condicionador de ar, foram utilizadas duas tecnologias distintas de condicionadores: Split e Inverter.

4.1 Condicionador de ar Split

Para o condicionador de ar do tipo *Split* (Philco PH12000TQFM6), foi definido um cenário de teste com valores predeterminados realizado no dia 17/10/2017 com início às 17 horas. Com o intuito de demonstrar a eficiência do sistema desenvolvido, mantendo as mesmas configurações de valores, foram realizados tanto testes sem a utilização do sistema inteligente quanto com a utilização do modelo proposto para, assim, efetuar comparações entre ambas as formas de teste.

Vale ressaltar que a grande vantagem proposta pelo sistema é a de ligar o condicionador de ar numa temperatura considerada confortável para o usuário e fazê-lo antecipadamente a sua chegada à residência, proporcionando maior comodidade para ele assim que adentre o recinto e permitindo que o condicionador de ar já esteja chaveando (ligando e desligando) seu compressor ou esteja muito próximo de chavear, possibilitando a diminuição do consumo de energia elétrica

O cenário de teste definido para o condicionador de ar Split, sem a utilização do sistema nebuloso, é descrito da seguinte maneira: temperatura ambiente de 27°C; temperatura definida pelo usuário para o condicionador de ar de 16°C; e o intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado em 16°C é de 1 hora. Considerando tal cenário, foi mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e precificado esse consumo durante o intervalo de tempo de 1 hora e com a temperatura do condicionador de ar em 16°C, através de um sensor de corrente elétrica.

Já com a utilização do sistema nebuloso o cenário de teste manterá a mesma temperatura ambiente. Nesse teste, será utilizado a temperatura de conforto térmico do usuário que é 24°C, assim o condicionador de ar será ligado diretamente em 24°C e o intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado nessa temperatura é de 1 hora. Nesse cenário, também será mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e precificado esse consumo durante esse intervalo de tempo para que, posteriormente, seja possível comparar os valores de consumo de cada teste, verificando se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada. Após a coleta de todos os valores, será possível obter métricas que ajudem na construção de um cálculo (algoritmo) mais preciso referente ao tempo ideal para ligar o condicionador de ar antes do usuário chegar na residência, garantindo economia de energia elétrica e conforto térmico ao usuário.

4.2 Condicionador de ar Inverter

Para o condicionador de ar do tipo *Inverter* (Philco PH9000IQFM), assim como para o Split, também foi definido um cenário de teste realizado no dia 18/10/2017 com início às 17:30h, porém contendo valores diferentes do cenário apresentado anteriormente. Com o intuito de demonstrar a eficiência do sistema desenvolvido, também com o Inverter foram realizados tanto testes sem a utilização do sistema inteligente quanto com a utilização do modelo proposto.

Vale ressaltar, assim como destacado na tecnologia Split, que a eficiência do sistema proposto não se dá pelo fato de acionar o condicionador de ar Inverter numa temperatura mais elevada. A grande vantagem proposta por esse sistema é a de ligar o condicionador de ar numa temperatura considerada confortável para o usuário e fazê-lo antecipadamente a sua chegada à residência, proporcionando maior comodidade e permitindo que o condicionador de ar já esteja realizando o controle da potência do seu compressor ou esteja muito próximo disso.

O cenário de teste definido para o condicionador de ar Inverter, sem a utilização do sistema nebuloso, possui a seguinte configuração: temperatura ambiente de 23°C; temperatura definida pelo usuário para o condicionador de ar de 16°C; e o intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado em 16°C é de 1 hora. Considerando tal cenário, será mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e precificado esse consumo durante o intervalo de tempo de 1

hora e com a temperatura do condicionador de ar em 16°C, através de um sensor de corrente elétrica.

Já com a utilização do sistema nebuloso, a temperatura ambiente será de 25° e a temperatura de conforto térmico do usuário de 23°C, assim o condicionador de ar será ligado diretamente em 23°C durante 1 hora, intervalo de tempo no qual o ar permanece ligado nessa temperatura. Nesse cenário, também será mensurado o consumo de energia elétrica em kWh e especificado esse consumo durante esse intervalo de tempo para que, posteriormente, seja possível comparar os valores de consumo de cada teste, verificando se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada.

4.3 Controle Inteligente da Iluminação

A partir de uma limitação detectada durante a fase de testes no sensor de corrente elétrica, responsável por efetuar a medição do consumo da energia elétrica, não foi possível realizar testes e obter valores reais tanto sem a utilização do sistema inteligente quanto com a utilização do modelo proposto para efetuar comparações entre ambas as formas de testes.

Ao realizar os testes, identificou-se que a lâmpada led dimerizável utilizado no protótipo possui apenas 10 Watts, uma potência considerada muito baixa. Assim, como a lâmpada consome pouca energia devido a baixa potência o sensor de corrente não consegue efetuar a leitura da corrente elétrica consumida durante os testes, considerando que o sensor utilizado (SCT-103 20A) apresenta uma *limitação* na sua capacidade de realizar medições precisas de pequenos valores de corrente.

Apesar de não ser viável efetuar testes reais, é possível a partir de pesquisas e estudos realizados analisar a eficiência do sistema proposto. O controle realizado para regular a luminosidade emitida pelas lâmpadas led é efetuado ‘automaticamente’ através do sistema nebuloso (Fuzzy), ou seja, o sensor de luminosidade detecta a luz natural (ambiente), o que permite ao sistema, através das regras desenvolvidas, propor uma luminosidade adequada para a lâmpada. Ao ligar uma lâmpada comum que possui apenas duas fases (ligado e desligado) sempre utiliza-se a sua máxima intensidade de brilho (potência) em todas as horas do dia, o que acaba aumentando o consumo de energia elétrica. Já com o modelo proposto, a lâmpada led utilizará apenas a intensidade (potência) necessária, diminuindo a sua

potência o que, conseqüentemente, diminui o consumo de energia elétrica bem como, aumenta a sua vida útil, já que não opera sempre na potência máxima.

A seguir, apresenta-se uma figura que ilustra a quantidade média de energia economizada, de acordo com a redução da intensidade do brilho (potência) de uma lâmpada led dimerizável:

Quantidade de brilho reduzida	Economia de energia	Aumento da vida útil da lâmpada
10%	10%	2 - 3 vezes
25%	20%	3 - 6 vezes
50%	40%	mais de 10 vezes

Tabela 1 - Comparação entre o brilho emitido pelas lâmpadas com a economia de energia elétrica. Fonte: (Bluelux, 2016).

Pode-se perceber a partir do estudo realizado pela empresa Bluelux, que com a utilização do Dimmer é possível obter redução no consumo de energia elétrica aumentando, também, a eficiência energética das lâmpadas led. Sendo assim, é possível concluir que o sistema proposto possibilita melhorar tanto a eficiência energética quanto diminuir o consumo de energia elétrica das lâmpadas utilizadas nas residências.

5. Resultados

A partir de definições dos cenários, foram realizados os testes referentes ao controle inteligente do condicionador de ar, obtendo-se alguns resultados que serão apresentados durante o decorrer deste capítulo.

Primeiramente, apresentam-se os resultados obtidos durante os testes no condicionador de ar do tipo *Split* (12000 BTUs). Nesse cenário foram definidos dois testes: um sem a utilização do sistema e o outro com a utilização do sistema, visando verificar a quantidade de energia elétrica consumida e o valor referente a este consumo, a fim de realizar comparações e aferir se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada. No primeiro teste, sem o uso do sistema, com o condicionador de ar ligado em 16°C durante 1 hora de teste, obteve-se um consumo de energia elétrica total de *1,41 kWh*, o que precificado equivale a *R\$0,72* centavos por hora. Para alcançar esse resultado, realizou-se o seguinte cálculo: (Soma

de todas as correntes identificadas a cada segundo durante 1 hora / 360 segundos) / 1000 = kWh consumido. Para realizar a precificação, multiplicou-se o valor obtido em kWh no cálculo anterior pelo custo de 1 kWh da energia local. Com isso, obteve-se o preço final por hora.

No segundo teste, utilizando-se o sistema proposto, o condicionador de ar permaneceu ligado durante 1 hora na temperatura de conforto térmico do usuário, que nesse contexto foi de 24°C. Após esse intervalo de tempo, obteve-se um consumo de energia elétrica total de *0,58 kWh*, o que equivale a *R\$0,29* centavos por hora. Como no teste anterior, realizou-se o mesmo cálculo para chegar a esse resultado, sendo que a diferença entre os valores precificados nos testes foi de *R\$0,43* centavo.

A partir dos resultados apresentados anteriormente, pode-se concluir que, ao utilizar o sistema proposto na tecnologia Split, foi possível obter a diminuição do consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, aumentar a eficiência energética do equipamento sem alterar o conforto do usuário. Isso ocorreu devido ao seguinte fato: ao selecionar a temperatura de 16°C no condicionador de ar, visto que a temperatura ambiente estava em 27°C, o tempo necessário para essa temperatura alcançar a selecionada é muito maior e, dessa forma o condicionador de ar fica constantemente atuando em sua potência máxima, o que ocasionou um consumo maior de energia elétrica. Já ao ligar o condicionador de ar diretamente na temperatura confortável de 24°C, o tempo necessário para alcançá-la, visto que a temperatura ambiente também estava em 27°C, foi menor, o que permitiu que o condicionador de ar desligasse seu compressor e, conseqüentemente, diminuísse o consumo de energia elétrica.

Finalizado os testes no condicionador de ar Split, iniciou-se os testes na tecnologia Inverter (9000 BTUs). Assim como para o Split, foram definidos dois ensaios, um sem a utilização do sistema e o outro com a utilização do sistema, para que fosse possível realizar comparações entre ambos e aferir se o sistema proposto alcançou a eficiência esperada.

No primeiro teste, sem o uso do sistema, com o condicionador de ar ligado em 16°C durante 1 hora de teste, obteve-se um consumo de energia elétrica total de *0,78 kWh*, o que resultou em *R\$0,40* centavos por hora. Para alcançar esse resultado realizou-se o cálculo apresentado anteriormente.

Já ao utilizar o sistema proposto, o condicionador de ar permaneceu ligado durante 1 hora na temperatura de conforto térmico do usuário, que nesse contexto foi de 23°C. Após esse intervalo de tempo, obteve-se um consumo de energia elétrica total de *0,59 kWh* o que

equivale a R\$0,30 centavos por hora. Como no teste anterior, realizou-se o mesmo cálculo para chegar a esse resultado e a diferença entre os valores precificados nos dois testes foi de R\$0,10 centavos.

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que ao utilizar o sistema proposto na tecnologia Inverter, ainda que a diferença de valor entre os dois testes tenha sido menor do que no Split, foi possível obter a diminuição do consumo de energia elétrica e, consequentemente, aumentar a eficiência energética do equipamento sem alterar o conforto do usuário. Provavelmente, esse valor aumentará, conforme o sistema seja utilizado por um longo período de tempo.

Diferentemente da tecnologia Split, o Inverter não desliga completamente seu compressor ao atingir a temperatura ambiente selecionada, realizando apenas o aumento/diminuição da potência do compressor, o que não gera picos de energia e, consequentemente, diminui o consumo de energia elétrica conforme apresentado nos resultados dos testes realizados.

Abaixo, apresenta-se uma tabela com os resultados obtidos a partir dos testes:

	Sem Sistema Proposto após 1 hora	Com Sistema Proposto após 1 hora
CONDICIONADOR DE AR SPLIT	1,41 kWh R\$0,72 centavos	0,58 kWh R\$0,29 centavos
CONDICIONADOR DE AR INVERTER	0,78 kWh R\$0,40 centavos	0,59 kWh R\$0,30 centavos

Tabela 2 - Resultados finais obtidos para o controle dos condicionadores de ar. Fonte: (Do autor, 2017).

6. Considerações Finais

Nesse capítulo são apresentadas as conclusões do projeto desenvolvido até o momento e as recomendações para a continuidade dos trabalhos nesta área de estudo.

O presente trabalho teve como principal objetivo permitir, de maneira inteligente, o aumento da eficiência energética dos equipamentos e a diminuição do consumo de energia elétrica em residências, sem alterar radicalmente a rotina e o conforto dos usuários. Dessa forma, após efetuadas pesquisas e estudos referentes ao tema, decidiu-se por realizar a

automação de dois equipamentos utilizados em grande parte das residências no Brasil: lâmpadas led e condicionador de ar.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram encontradas algumas dificuldades como, por exemplo, a obtenção de estudos precisos referentes ao tema eficiência energética aplicada à residências; a localização de fornecedores que possuíssem todos os equipamentos necessários para a montagem do protótipo; a ausência de conhecimento, principalmente em hardware, para realizar a correta montagem do protótipo e, conseqüentemente, realizar a integração dos componentes; e o conhecimento insuficiente de conceitos, funcionalidades e aplicabilidade em elétrica e eletrônica, áreas extremamente importantes para o desenvolvimento desse projeto.

Em função das dificuldades encontradas, bem como do limite de tempo para a finalização do projeto, o aprimoramento da solução desenvolvida ficou impossibilitado. Nesse sentido, aponta-se a necessidade de que trabalhos futuros desenvolvam uma funcionalidade que armazene o comportamento do condicionador de ar em relação ao ambiente e verifique quanto tempo o condicionador leva para atingir a temperatura desejada pelo usuário, levando em conta os dados do ambiente. Através dessa funcionalidade, será possível determinar com maior exatidão o tempo necessário que deve-se acionar o condicionador de ar antes que o usuário chegue a sua residência. No momento, o sistema não contém nenhum cálculo (algoritmo) que realize essa previsão, assim, a descoberta desse intervalo de tempo “ideal” pode ser realizada a partir de repetidos testes. Recomenda-se também incorporar ao sistema um algoritmo de aprendizagem mais sofisticado, utilizando, por exemplo, o sistema neuro-fuzzy que, para Babuska e Verbruggen (2003), permite realizar a combinação entre a semântica transparente dos sistemas difusos, baseada em regras, com a capacidade de aprendizado das redes neurais artificiais. É indicado também que, na interface gráfica disponibilizada para os usuários, desenvolvam-se relatórios para que os usuários possam acompanhar o status de consumo dos equipamentos elétricos, bem como a previsão de gastos mensais. Por fim, sugere-se a busca por alternativas que permitam a realização do teste referente ao controle inteligente da lâmpada led, o qual, conforme descrito anteriormente, não pôde ser efetivado neste projeto.

Após os testes realizados, conclui-se que os resultados alcançados a partir da utilização do sistema proposto foram satisfatórios quando comparados aos resultados alcançados sem a utilização do sistema, mesmo não sendo possível comprovar em valores

reais a economia utilizada na iluminação, pode-se afirmar que é possível economizar até 60% em energia elétrica apenas controlando a intensidade de luz emitida pela lâmpada led, ou seja, o consumo tende a diminuir, significativamente. O sistema proposto nesse projeto pode, a partir de adaptações, ser aplicado a outros equipamentos elétricos utilizados nas residências, propiciando assim, o aumento da eficiência energética e a diminuição do consumo de energia elétrica, fundamental para a atual realidade energética enfrentada no Brasil. Esse sistema contribui também, consideravelmente, para famílias que possuem baixa renda econômica, que através de um baixo investimento é possível automatizar os equipamentos elétricos, diminuindo as despesas com energia elétrica e, conseqüentemente, contribuindo para a conservação energética.

Por fim, pode-se afirmar que o sistema desenvolvido nesse projeto poderá, considerando-se as recomendações anteriores para seu aperfeiçoamento, ser aplicado não somente à residências, mas também a outros âmbitos como, por exemplo, empresas, indústrias e nas atuais smart cities.

Referências

GELLER, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

TOLMASQUIM, M. **As Origens da Crise Energética Brasileira**. Ambiente & Sociedade – Ano III – n 6/7 – 1 Semestre de 2000 / 2 Semestre de 2000.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2 edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

APÊNDICE B - Código Fonte do Sistema Proposto

```
var Banco = require('./db/manager/index')(function (models, sequelize) {  
    global.models    = models;  
    global.sequelize = sequelize;
```

```
// server.js
```

```
// BASE SETUP
```

```
// call the packages we need
```

```
var express = require('express');  
var app = express();  
var bodyParser = require('body-parser');  
var SerialPort = require("serialport");  
var Readline = SerialPort.parsers.Readline;  
var inputs = new SerialPort("/COM4");  
var output = new SerialPort("/COM6");  
var parser = inputs.pipe(Readline({delimiter: '\r\n'}));  
var parserOutput = output.pipe(Readline({delimiter: '\r\n'}));  
var primeiraCorrente = 0;  
var ar_condicionado = false;  
var tempo_repeticao = 10000; //ms  
var moment = require('moment');  
var exec = require('child_process').exec, child;
```

```
moment.locale('pt-br');
```

```
//PRINCIPAL VARIÁVEL DO SISTEMA. AQUI É FEITO A TROCA DE DADOS  
ENTRE SENSORES, APLICAÇÃO E BANCO DE DADOS.
```

```

var ambiente = {
    temperatura:0,
    umidade:0,
    presenca: 0,
    corrente:0,
    luminosidade:0,
    ultimaPresenca: null,
    custoEnergia: 0,
    baseConsumo: 0,
    modo_operacao: null,
    parcialEnergia: 0,
    nome: null,
    device_input: false,
    device_output: false
};

//=====CHAMADA E TRATAMENTO DOS DADOS PARA O FUZZY =====

//===== Intervalo para chamada do fuzzy =====
var rotina = setInterval(function(){
    if(ambiente.device_input && ambiente.device_output){
        console.log("Enviando para Fuzzy..");
        calculoCorrenteCusto();
        getOutput();
    }else{
        console.log("Dispositivos não conectados!");
    }
},tempo_repeticao);

```

```
//=====Chamada do FCL e recebimento do resultado =====
```

```
var getOutput = function(){
    var ultimapresencadiaatual = -1;
    var dateInfo = getMinutesAndMonth();
    var today = moment().format('YYYY-MM-DD');
    models.presenca.findAll({where:{true:{gte:today}}}).then(function(item){
        var size = item.length;
        if(size > 0){
            var tempHour = new Date(item[size - 1].true);
            var minutes = tempHour.getMinutes();
            var hour = tempHour.getHours();
            ultimapresencadiaatual = hour * 60;
            ultimapresencadiaatual += minutes;
            console.log(ultimapresencadiaatual)
        }
        //consumo -- estacao do ano -- luminosidade -- periodo atual -- temperatura
        --ultimapresencadiaatual -- umidade
        child = exec("java -jar fuzzy.jar -noCharts -e Controller.fcl
"+ambiente.baseConsumo+" "+dateInfo.estacao+" "+ambiente.luminosidade+ " "
+dateInfo.time+ " " +ambiente.temperatura+ " " +ultimapresencadiaatual+ " "
+ambiente.umidade+ "" ,
        function (error, stdout, stderr){
            cleanOutput(stdout);
        });
    }else{
        console.log("nenhuma presença", ultimapresencadiaatual)
    }
    //consumo -- estacao do ano -- luminosidade -- periodo atual -- temperatura
    --ultimapresencadiaatual -- umidade
    child = exec("java -jar fuzzy.jar -noCharts -e Controller.fcl 20
"+dateInfo.estacao+" "+ambiente.luminosidade+ " " +dateInfo.time+ " "
+ambiente.temperatura+ " " +ultimapresencadiaatual+ " " +ambiente.umidade+ "" ,
        function (error, stdout, stderr){
```

```

        cleanOutput(stdout);
    });
}
}).catch(function(err){
    console.log(err)
})
}

```

//===TRANSFORMANDO O RETORNO NUMA BASE UTILIZÁVEL NO SISTEMA==

```

var cleanOutput = function(output){
    var ar = output.search("controle_ar");
    var lum = output.search("regula_intensidade_luz");
    var controle_ar = output.substring(ar+14, ar+16);
    var regula_luminosidade = output.substring(lum+25, lum+27);
    var intensidade_luz = "D"+regula_luminosidade;
    console.log("Analisando comportamento do usuário..", intensidade_luz,
regula_luminosidade, controle_ar)
    findUserBehaviour(controle_ar, intensidade_luz);
};

```

```

var findUserBehaviour = function(temperatura_ar, intensidade_luz){
    var horaPrevisao = getMinutesAndMonth();
    var acoesLigar = [];
    var acoesDesligar = [];

```

```

models.ar.findAll({where:{temperatura_atual:ambiente.temperatura}}).then(function(a
coes){
    if(acoes.length > 0){
        acoes.forEach(function(el, index, array){
            var dataAcao = new Date(el.true);
            var minutes = dataAcao.getMinutes();

```

```

        var hour = dataAcao.getHours();
        hour = hour*60;
        var minutesDate= hour + minutes;
        if(el.status == 'Ligar'){
            if(minutesDate > horaPrevisao.time && minutesDate <
horaPrevisao.hora_previsao){
                acoesLigar.push(el);
            }
        }else{
            if(minutesDate > horaPrevisao.time && minutesDate <
horaPrevisao.hora_previsao){
                acoesDesligar.push(el);
            }
        }
        if(index == array.length -1){
            calculateExit(acoesLigar, acoesDesligar, intensidade_luz,
temperatura_ar);
        }
    });
}else{
    console.log("Usuário ainda não exerceu nenhuma ação!");
    calculateExit(acoesLigar, acoesDesligar, intensidade_luz,
temperatura_ar);
}
}).catch(function(err){
    console.log(err)
})
};

var calculateExit = function(acoes_ligar, acoes_desligar, intensidade_luz,
temperatura_ar){
    if(acoes_desligar.length >= acoes_ligar.length){

```

```

console.log("Nenhuma ação para o ar efetuada!");
writeAndDrainDimmer(intensidade_luz, function(ret){
    console.log("Enviando intensidade de luz: ", intensidade_luz);
})
}else{
console.log("Analisando presenças..");
if(intensidade_luz){
    console.log("Padrão encontrado! Calculando temperatura
média..");

    var sumTemperatura = +temperatura_ar;
    var totalVentilacao = 0;
    var totalSwing = 0;
    for (var x in acoes_ligar){
        sumTemperatura += +acoes_ligar[x].temperatura_utilizada;
        if(acoes_ligar[x].swing){
            totalSwing++;
        }
        if(acoes_ligar[x].ventilacao){
            totalVentilacao++;
        }
    }
    var divisor = acoes_ligar.length + 1;
    var taxaVentilacao = totalVentilacao/divisor;
    var taxaSwing = totalSwing/divisor;
    var valorFinal = sumTemperatura/divisor;

    console.log("Enviando temperatura: ", valorFinal, "Taxa
ventilação: ",taxaVentilacao, "Taxa swing: ", taxaSwing);
    writeAndDrainDimmer(intensidade_luz, function(ret){
        console.log("Enviando intensidade de luz: ",
intensidade_luz);
    })
}
}

```

```

        }else{
            console.log('Não encontrado padrão de presença no período!')
        }
    }
}

```

//=====CONVERSÃO DA DATA EM BASE MINUTOS PARA SE ADEQUAR NO PADRÃO DEFINIDO NO FLC=====

```

var getMinutesAndMonth = function(){
    var date = moment();
    var minutes = date.minute();
    var hour = date.hour();
    var month = date.month();
    var day = date.date();
    var year = date.year();
    var totalMinutes = hour * 60;
    totalMinutes += minutes;
    date.add(20, 'minutes');
    var minutesPrevisao = date.minute();
    var hourPrevisao = date.hour();
    hourPrevisao = hourPrevisao * 60;
    var hora_previsao = hourPrevisao + minutesPrevisao;
    return {time: totalMinutes, hora_previsao: hora_previsao, estacao: month + 1};
}
// =====FIM DOS MÉTODOS FUZZY =====

```

```
// =====CONEXÕES, LEITURA E TRATAMENTO DOS DADOS DOS  
SENSORES COM ARDUINO =====
```

```
/*
```

```
C - Corrente
```

```
T - Temperatura
```

```
U - Umidade
```

```
L - Luminosidade
```

```
P - Presença
```

```
*/
```

```
//=====DISPOSITIVO DE CONEXÃO COM OS SENSORES DE  
ENTRADA, QUE COLETAM OS DADOS DO AMBIENTE =====
```

```
try{
```

```
    inputs.on('open', function(){  
        console.log('Device de input conectado!');  
        ambiente.device_input = true;  
        parser.on('data', function(data){  
            var str = data.toString();  
            var type = str.substring(0, 1);  
            if(type == 'C'){  
                var value = str.substring(3, 9);  
                value = +value;  
                console.log(value, 'corrente')  
                if(primeiraCorrente > 11){  
                    ambiente.corrente = value;  
                    registraCorrente();  
                }else{  
                    primeiraCorrente++;  
                    ambiente.corrente = 0;  
                }  
            }  
        })  
    })
```

```

}
if(type == 'T'){
    var value = str.substring(3, 9);
    if(ambiente.temperatura == value){
        // console.log("Mesma Temperatura")
    }else{
        if(value > 0){
            ambiente.temperatura = value;
            registraTemperaturaUmidade();
        }
    }
}
if(type == 'U'){
    var value = str.substring(3, 9);
    if(ambiente.umidade == value){
    }else{
        if(value > 0){
            ambiente.umidade = value;
            registraTemperaturaUmidade();
        }
    }
}
if(type == 'L'){
    var value = str.substring(3, 9);
    if(ambiente.luminosidade == value){
    }else{
        if(value > 0){
            ambiente.luminosidade = value;
            registraLuminosidade();
        }
    }
}
}

```

```

        if(type == 'P'){
            var value = str.substring(3, 9);
            ambiente.presenca = value;
            if(ambiente.presenca == 1) registraPresenca();
        }
    });
    parser.on('error', function(data) {
        console.log('Error: ' + data);
    })
});
}catch(err){
    console.log(err)
}

```

// =====DEVICE DE CONEXÃO COM OS DISPOSITIVOS DE SAÍDA, QUE MANDAM COMANDOS PARA A LÂMPADA E O AR =====

```

try{
    output.on('open', function(){
        console.log("Device de output conectado!");
        ambiente.device_output = true;
        parserOutput.on('data', function(data){
            var str = data.toString();
            // console.log(str);
        });

        parserOutput.on('error', function(data) {
            console.log("Error: " + data);
        })
    });
}catch(err){
    console.log(err)
}

```

```
}
```

```
// sends data to the connected device via serial port
```

```
function writeAndDrain (data, callback) {
```

```
// flush data received but not read
```

```
inputs.flush();
```

```
// write/send data to serial port
```

```
inputs.write(data, function (error) {
```

```
    if(error){console.log(error);}
    else{
```

```
        // waits until all output data has been transmitted to the serial port.
```

```
        inputs.drain(callback);
```

```
    }
```

```
});
```

```
}
```

```
function writeAndDrainDimmer (data, callback) {
```

```
// flush data received but not read
```

```
output.flush();
```

```
// write/send data to serial port
```

```
output.write(data, function (error) {
```

```
    if(error){console.log(error);}
    else{
```

```
        // waits until all output data has been transmitted to the serial port.
```

```
        output.drain(callback);
```

```
    }
```

```
});
```

```
}
```

```
//=====FINAL DA CONEXÃO COM O ARDUINO =====
```

//=====FUNÇÕES QUE ARMAZENAM O COMPORTAMENTO
DO USUÁRIO DE ACORDO COM A COLETA DOS SENSORES=====

```
function registraCorrente(){  
    models.corrente.create({  
        valor: ambiente.corrente  
    }).then(function(){  
    }).catch(function(err){  
        console.log("Erro ", err)  
    })  
}
```

```
function registraTemperaturaUmidade(){  
    models.temp_umi.create({  
        temperatura: ambiente.temperatura,  
        umidade: ambiente.umidade  
    }).then(function(){  
        // console.log("registrada nova temperatura e umidade")  
    }).catch(function(err){  
        console.log("Erro ", err)  
    })  
};
```

```
function registraLuminosidade(){  
    models.luminosidade.create({  
        Luminosidade_atual: ambiente.luminosidade  
    }).then(function(){  
        // console.log("registrada nova luminosidade");  
    }).catch(function(err){  
        console.log("Erro ", err)  
    })  
};
```

```

function registraPresenca(){
    models.presenca.create().then(function(prese){
        ambiente.ultimaPresenca = prese.true;
    }).catch(function(err){
        console.log("Erro ao registrar presença", err.toString())
    });
};

```

```

function registraPreferenciaAr(type, config, res){
    var estacao = getMinutesAndMonth();
    if(type == 1){
        console.log("Ligou o ar");
        models.ar.create({
            status:"Ligar",
            temperatura_atual: ambiente.temperatura,
            temperatura_utilizada: config.tempe,
            estacao_ano: estacao.estacao,
            swing: config.swing,
            ventilacao: config.ventilacao,
            umidade: ambiente.umidade,
        }).then(function(ar){
            console.log("ação do ar");
            ar_condicionado = true;
            res.send({success:true})
        }).catch(function(err){
            res.send({success:false})
            console.log(err)
        });
    }else{
        models.ar.create({
            status:"Desligar",
            temperatura_atual: ambiente.temperatura,

```

```

        temperatura_utilizada: null,
        estacao_ano: estacao.estacao,
        swing: null,
        ventilacao: null,
        umidade: ambiente.umidade,
    }).then(function(ar){
        console.log("Desligar do ar");
        ar_condicionado = false;
        res.send({success:true})
    }).catch(function(err){
        res.send({success:false})
        console.log(err)
    });
    console.log("Desligou o ar")
}
console.log(type, config);
};

function calculoCorrenteCusto(){
    var start = moment().startOf('month');
    var end = moment().endOf('month');
    console.log("Total consumido", start, end)
    models.config.findOne().then(function(config){
        models.corrente.sum('valor',{where:{$and:[{true:{gte:start}},{true:
{lte:end}}]}])).then(function(consumo){
            console.log("Total consumido", consumo)
            var consumoPorhora = +consumo / 3600;
            var kwHora = consumoPorhora/1000;
            var consumoReal = +config.custo_energia * kwHora;
            console.log(consumoReal);
            ambiente.parcialEnergia = +consumoReal.toFixed(3);

```

```

        ambiente.baseConsumo = (+consumoReal *
100)/+config.max_custo_energia;
        ambiente.baseConsumo = +ambiente.baseConsumo.toFixed(1);
    }).catch(function(err){
        console.log("err", err)
    })
}).catch(function(err){
    console.log("err", err)
})
}
calculoCorrenteCusto();

```

```
//=====FINAL MÉTODOS DE REGISTRO =====
```

```
//===SERVIDOR WEB QUE VAI RECEBER AS REQUISIÇÕES DA INTERFACE===
```

```

app.use(bodyParser.urlencoded({ extended: true }));
app.use(bodyParser.json());
app.use('/', express.static(__dirname + '/public'));
var port = process.env.PORT || 8080;    // set our port

```

```
// ROUTES FOR OUR API
```

```

var router = express.Router();
router.post('/air-on', function(req, res) {
    registraPreferenciaAr(1, req.body, res);
    writeAndDrain('ledon', function(ret, ret2){
        console.log("Led-ON")
    })
});

```

```
router.get('/air-off', function(req, res) {
```

```

registraPreferenciaAr(0, {}, res);
writeAndDrain('ledoff', function(ret, ret2){
    console.log("Led-OFF")
})
});

router.get('/getInfo', function(req, res) {
    models.config.findOne().then(function(config){
        if(config){
            ambiente.custoEnergia = config.custo_energia;
            ambiente.nome = config.nome;
            ambiente.modos_operacao = config.modos_operacao;
            res.send({ success:true, data: ambiente });
        }else{
            res.send({ success:true, data: ambiente });
        }
    }).catch(function(err){
        console.log(err)
    });
});

router.post('/updateConfig', function(req, res) {
    models.config.findOne().then(function(config){
        if(config){
            config.update(req.body).then(function(conf){
                res.send({ success:true, data: conf });
            }).catch(function(err){
                res.send({ success:false, data: err.toString()});
            });
        }else{
            models.config.create(req.body).then(function(conf){
                res.send({ success:true, data: conf });
            });
        }
    });
});

```

```
        }).catch(function(err){
            res.send({ success:false, data: err.toString()});
        });
    }
}).catch(function(err){
    res.send({ success:false, data: err.toString()});
})
});
```

```
router.post('/illuminationUpdate', function(req, res) {
    var text = "D"+req.body.value
    console.log(text, "to mandando?")
    writeAndDrainDimmer(text, function(ret){
        res.json({ message: 'Air OFF!' });
    })
});
```

```
app.use('/api', router);
```

```
// START THE SERVER
```

```
app.listen(port);
console.log("Magic happens on port " + port);
});
```

