

# Inclusão do Módulo de Gerenciamento Inteligente na Arquitetura SmartCoM, Visando o Gerenciamento Eficiente do Consumo de Energia em Sistemas de Refrigeração em *Smart Home*, baseado em IoT

Rodrigo Alfaia, Edvar Oliveira, Anderson Souto, Marcelino Silva, Carlos Renato Francês

**Resumo**—Este artigo apresenta a especificação e o desenvolvimento do módulo inteligente, a ser integrado na arquitetura SmartCoM, que envolve a coleta e análise de dados meteorológicos, a partir de soluções de Internet das Coisas (IoT), para o gerenciamento inteligente de um condicionador de ar com objetivo otimizar o consumo de energia, sem perder o conforto térmico dos usuários residentes. Como resultado da utilização do módulo inteligente, será discutida a estimativa e a redução do consumo de energia para o ano de 2017, comparando o modelo proposto com o uso convencional do condicionador de ar.

**Palavras-Chave**— *Internet das Coisas, Fuzzy, SmartCoM, Smart Home.*

**Abstract**—This paper presents the specification and development of the intelligent module, to be integrated in SmartCoM architecture, which involves collection and analysis of meteorological data, from Internet of Things (IoT), to intelligent management of an air conditioner, the objective is to optimizing energy consumption, without compromising residents thermal comfort. As a result of intelligent module use, the estimation and reduction of energy consumption for year 2017 will be discussed, comparing proposed model and conventional use of air conditioner.

**Keywords**— *Internet of Things, Fuzzy, SmartCoM, Smart Home.*

## I. INTRODUÇÃO

O paradigma da internet das coisas (IoT) teve um crescimento no últimos anos e atualmente impulsionou o uso de dispositivos conectados à internet e acesso a conteúdo online, ajudando no gerenciamento em diversas áreas, por exemplo no domínio de *Smart Home* [1]. Em residências existe uma grande necessidade do gerenciamento mais inteligente direcionado para a eficiência no consumo de energia, conseqüentemente, na redução de custo [2].

Além disso, a eficiência energética está atrelada a diversos fatores e variáveis, que são estudadas para obter modelos e melhorias em dispositivos que ajudem na otimização do consumo de energia. Em especial, a temperatura é uma das variáveis que afeta diretamente o consumo de energia, e quando associada a umidade relativa do ar, a sensação de desconforto térmico pode aumentar ainda mais, em épocas de calor, implicando no crescimento do uso de condicionadores de ar, que representam 60% do consumo de energia em edifícios e residências [3]. A fim de tentar reduzir esse consumo esta proposta apresenta uma solução inovadora e específica para o

contexto de *Smart Home*, quando considerado o monitoramento inteligente de temperatura para ambiente *indoor*.

A arquitetura *Smart Consumption Management Architecture* (SmartCoM) [4], a qual toma como base as diretrizes estabelecidas em [5] para a interoperabilidade e aplicabilidade dos *Smart Grids* no contexto do *Smart Home* para tecnologias IoT. A arquitetura se caracteriza por ser flexível e incluir recursos tecnológicos chave, tais como: segurança de dados, modularidade, interoperabilidade, capacidade de gerenciamento remoto, o uso possível de heurísticas de inteligência computacional, flexibilidade e reutilização.

Com o intuito de se obter uma redução do consumo de energia atrelado ao ajuste da sensação térmica em ambientes internos, este trabalho apresenta o módulo de gerenciamento inteligente a ser integrado na arquitetura SmartCoM [4], para automação em equipamentos que proveem a climatização em ambientes residenciais.

O objetivo deste estudo é a integração de um Módulo de Gerenciamento Inteligente (MGI) que fará o gerenciamento e controle dos condicionadores de ar, baseados na relação das variáveis de temperatura externa, umidade relativa do ar externa e a temperatura atual do ambiente, sendo utilizadas como variáveis de entrada para o sistema Fuzzy, que atuará no equipamento ajustando a temperatura do ambiente dentro de um padrão de conforto térmico.

A partir dos testes do módulo, foram obtidos resultados significativos de redução de consumo de energia, tanto para o uso diurno quanto para o noturno, com redução média anual de 20,1% e 24,5% respectivamente no consumo de energia, sem interferir no conforto térmico para os usuários.

As demais seções do artigo estão organizadas da seguinte forma. A Seção II traz uma breve explicação sobre o conforto térmico e a lógica Fuzzy. As Seções III e IV fazem uma síntese sobre a arquitetura SmartCoM, e a implementação do modelo proposto respectivamente. A Seção V apresenta os seus respectivos resultados. Finalmente, o artigo se encerra na Seção VI, a qual apresenta as conclusões e comentários finais.

## II. DEFINIÇÕES DO CONFORTO TÉRMICO APLICADO AO SISTEMA FUZZY

O conforto térmico pode ser definido como a sensação ou condição mental de um indivíduo que demonstra satisfação com o ambiente térmico no qual está inserido.

No Brasil existe normas (como as normas ISO 7730 e a NBR 6401) que estabelecem parâmetros para projeto de instalações de condicionadores de ar baseados em conceitos de conforto térmico, que definem, por exemplo, especificações de intervalos de temperatura do ambiente e a umidade relativa para o conforto térmico dos usuários [6], [7].

O módulo de gerenciamento inteligente proposto neste trabalho utiliza estas variáveis para prospectar o melhor valor de temperatura ambiente e a inteligência utilizada é baseada em Lógica Fuzzy. O Fuzzy é rápido, responsivo, robusto e capaz de acompanhar variações contínuas nas entradas do sistema. Pré-conhecimento do sistema não é necessário e a matemática envolvida é relativamente simples. Os controladores de lógica Fuzzy são adequados para sistemas residenciais, levando em conta que eles são caracterizados por alta não-linearidade, flutuações na entrada e variação do ambiente analisado [8]. Por necessitar de um baixo poder de processamento e de pouca memória, a lógica Fuzzy é o método inteligente utilizado neste proposta.

A lógica Fuzzy envolve a divisão de valores numéricos em uma faixa de estados chamadas funções de pertinências. Durante o procedimento de sobreposição, o estado de uma variável muda gradualmente perdendo seu valor enquanto o renova no próximo. A resposta pode não ser totalmente verdadeiro ou totalmente falso, assumindo uma resposta entre 0 e 1, aproximando-se da realidade [1], por exemplo, a primeira entrada no sistema Fuzzy será o índice de calor (IC) e a segunda será a temperatura atual ambiente. Caso a variável de entrada do IC atribua o valor de 25 °C, a sobreposição terá uma porcentagem em cada função de pertinência com 60% conforto e 40% desconfortável (conforme detalhada na seção IV), e caso a segunda entrada receba um valor de 22 °C, as porcentagens para cada função de pertinência serão de 60% meio frio e 40% confortável.

A combinação de todos os valores de entrada ativar as regras do sistema para gerar o resultado mais eficiente. Todas as regras geram valores de saídas difusas para cada variável de saída. Enfim, a fase de defuzzificação pesa as diversas respostas fornecidas pela lógica das regras e delega um número a saída.

### III. SMARTCOM E MÓDULO DE GERENCIAMENTO INTELIGENTE

A SmartCoM permite a adoção de heurísticas para um gerenciamento mais inteligente, ou seja, técnicas de inteligência computacional que tornarão o ambiente mais autossuficiente e confortável. O MGI, especificamente o sistema fuzzy, integrado na arquitetura analisará as variáveis que podem ser coletadas do equipamento de medição próprio e/ou de terceiros por conexão com a internet (via interface de comunicação) para um controle mais eficiente da temperatura interna, proporcionando comodidade, conforto e redução do consumo de energia.

A SmartCoM é dividida em quatro camadas (Figura 1), sendo [4]:

- Nuvem (do inglês, *cloud*): centraliza os serviços essenciais de acesso e o monitoramento remoto dos elementos conectados, desde que ofereça um meio de fornecer informações de qualquer dispositivo conectado à internet;
- Aplicações Locais: responsáveis pelo gerenciamento dos aparelhos monitorados, por meio de requisições REST, sendo capazes de estabelecer um controle

completo dos serviços disponíveis, com base no perfil de acesso do usuário;

- Unidade central: responsável por estabelecer níveis de gerenciamento como "gerenciamento de núcleo", conexão, adaptador, contexto, dados, regras e segurança, entre outras áreas, e exigem o uso da arquitetura;
- Nó de medição: responsável por capturar todas as medições dos *appliances* monitorados (aquisição de dados), gerenciando as mensagens de atuação e controle (controle de mensagens) e manipulando os dados enviados e recebidos pela rede (controle de rede).

O MGI proposto neste trabalho é especificado na camada de *middleware*, tendo um comunicação bidirecional com o gerenciamento de núcleo da SmartCoM, sendo responsável pela coleta e análise de dados, algoritmo de inteligência e automação. O MGI pode utilizar duas fontes de dados (variáveis de entrada), os dados provenientes dos sensores ou de bases de dados de fontes externas.

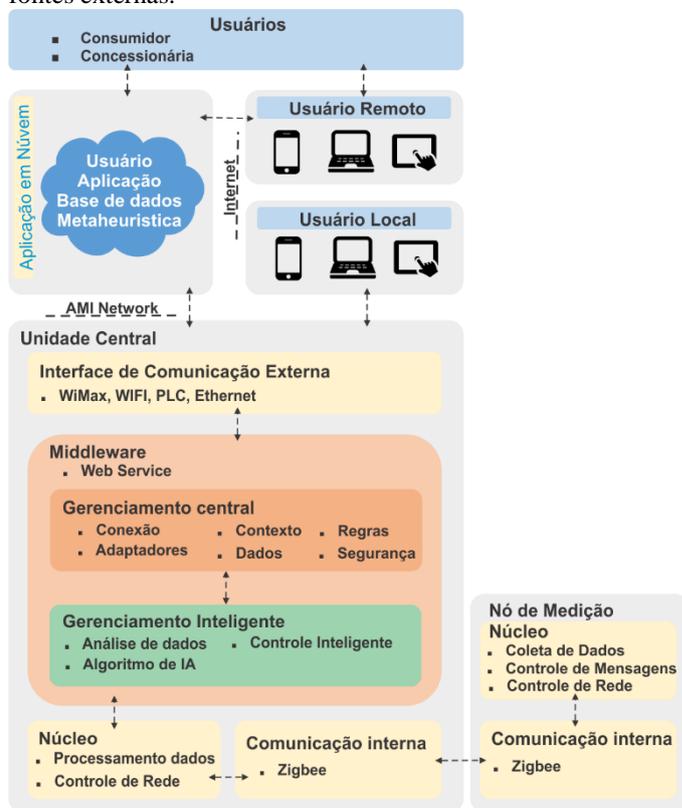


Fig. 1. Arquitetura SmartCoM.

O sensor fornece as informações em tempo real e podem ser coletadas e armazenadas usando o próprio Nó de monitoramento da arquitetura SmartCoM. Outra forma de coleta de dados é a partir de bases meteorológicas, como é utilizado neste trabalho.

### IV. ESTUDO DE CASO MGI

Para ajuste dos parâmetros iniciais do MGI, foi realizado monitoramento de tensão e corrente de um condicionador de ar conforme especificações na Tabela 1. O monitoramento ocorreu da seguinte forma: foi determinado a coleta de dados para a temperatura de 20 °C a 26 °C, no período de um hora cada. As temperaturas menores ou iguais a 19 °C não mostraram diferença no consumo, portanto definiu-se como o consumo máximo do condicionador de ar.

TABELA I. ESPECIFICAÇÕES DO CONDICIONADO DE AR E DA ÁREA

Equipamento	Potência/W	BTUs	Espaço monitorado m <sup>2</sup>
Condicionador de ar	800	9000	7

O estudo de caso em questão utilizou os dados meteorológicos do (Instituto Nacional de Meteorologia) INMET [9], com o objetivo de se prospectar resultados ao longo do ano de 2017. Os dados correspondem a temperatura e umidade monitorados pela estação automática de meteorologia de Belém-Pará 24 horas por dia. Os períodos usados para os testes foram de 22 às 6 horas e das 8 às 18 horas, sendo assim, foram removidos da base de teste as temperaturas e umidades referentes aos horários que não correspondem aos períodos citados.

Após inferência do MGI, o resultado esperado é a “temperatura ideal” para posterior acionamento do condicionador de ar. Com relação ao fluxo para geração da temperatura ideal, o modelo de tomada de decisão do MGI é dividido em duas etapas, a primeira é responsável pelo cálculo do IC.

A fórmula (1) do IC adaptada de [10], mensura o desconforto térmico por calor intenso, levando em conta a umidade relativa e a temperatura.

$$\begin{aligned}
 IC = & 1.8(-42.379 + 2.04901523T + 10.14333127R \\
 & - 0.22475541TR - 6.83783 \cdot 10^{-3}T^2 - 5.481717 \\
 & * 10^{-2}R^2 + 1.22874 \cdot 10^{-3}T^2R + 8.5282 \cdot 10^{-4}TR^2 \\
 & - 1.99 \cdot 10T^2R^2) - 32
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Onde T representa a temperatura em Fahrenheit e R a umidade relativa do ar.

O IC é usado como variável de entrada na etapa seguinte. A segunda etapa consiste na utilização da Lógica Fuzzy para efetuar o controle automático do condicionador de ar, de acordo com as variáveis de entradas. As funções de pertinência foram baseadas na tabela do IC desenvolvida por [11], no qual define faixas de temperatura representadas pelos seguintes intervalos: (i) frio quando se encontra abaixo de 21 °C; (ii) confortável entre 10 e 32 °C; (iii) desconforto entre 22 e 40 °C; (iv) quente entre 34 e 48 °C; (v) muito quente entre 42 e 58 °C e; (vi) risco a saúde quando se encontra superior a 50 °C. A Figura 2, ilustrada a seguir, apresenta as funções de pertinências do IC.

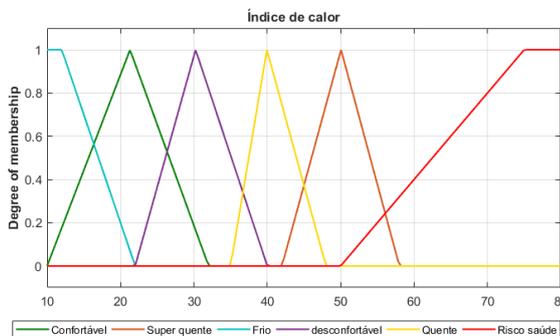


Fig. 2. Funções de pertinência da primeira entrada.

A temperatura atual do ambiente é a segunda variável de entrada no sistema (Figura 3), sendo subdividida em seis funções de pertinências baseadas no conceito de conforto térmico [12], no qual define faixas de temperatura

representadas pelos seguintes intervalos: (i) frio quando a temperatura interna está abaixo de 20 °C; (ii) meio frio entre 15 e 25 °C; (iii) confortável entre 20 e 30 °C; (iv) meio quente entre 25 e 35 °C; (v) quente quando a temperatura se encontra superior a 30 °C.

Após a execução da máquina de inferência fuzzy, a saída “temperatura ideal” pode assumir um dos sete estado possíveis ilustrados na Figura 4, o que significa que pode estar ou não dentro do intervalo do conforto ideal (21 a 26 °C) estabelecido por [6].

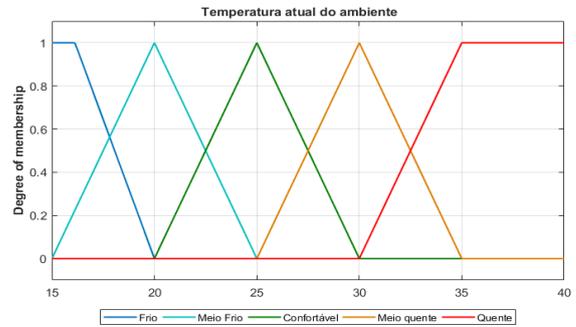


Fig. 3. Funções de pertinência da segunda entrada.

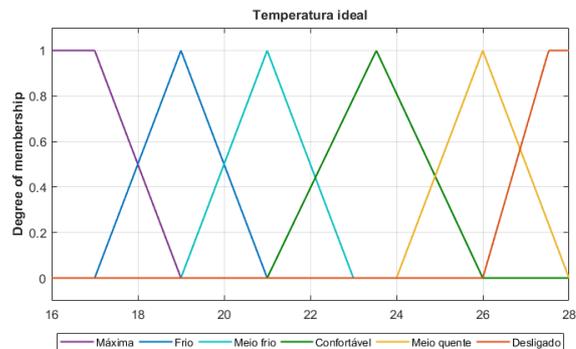


Fig. 4. Funções de pertinência da saída.

A Figura 5, a seguir, demonstra o fluxo desde a aquisição dos dados de entrada até a geração do resultado pelo MGI.

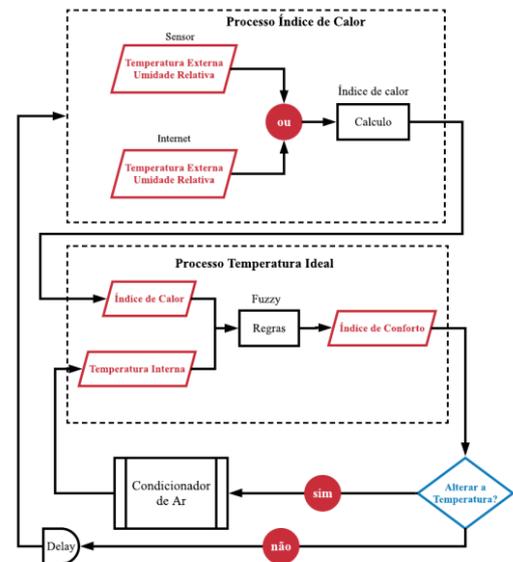


Fig. 5. Processos do gerenciamento inteligente.

O processo inicia pela escolha das entradas na primeira parte e a execução do cálculo que resulta na saída do IC, que servirá

como entrada na etapa seguinte, a qual será relacionado com a temperatura interna, coletada a partir do sensor do próprio condicionador de ar do ambiente, por meio de um sistema baseado em lógica fuzzy, por fim, se obtém a temperatura ideal para a tomada de decisão, na hipótese de não precisar alterar a temperatura, o sistema entra em *delay* (modo de espera) e retorna ao início para executar todos os processos novamente.

V. RESULTADOS

Após a coleta dos dados pelo equipamentos da SmartCoM, foram convertidas para a unidade padrão quilowatt-hora (kWh). Essa conversão foi realizada para representar o consumo de energia do condicionador de ar por cada temperatura, como é mostrada na Tabela 2.

TABELA II. CONSUMO EM KWH DA TEMPERATURA

Temperatura	Consumo (KWH)
26 °C	0.16
25 °C	0.32
24 °C	0.39
23 °C	0.41
22 °C	0.43
21 °C	0.45
20 °C	0.51
16 – 19 °C	0.56

O consumo de um condicionador de ar está atrelado ao funcionamento do compressor (disparos), igualmente ao funcionamento de uma geladeira, quanto maior for o tempo que o compressor passa ligado, maior será o consumo de energia. Outro ponto importante que influencia no comportamento do compressor são as variáveis meteorológicas, por exemplo, se a temperatura externa estiver em equilíbrio com a temperatura do ambiente monitorado, menor será o tempo que compressor passa ligado.

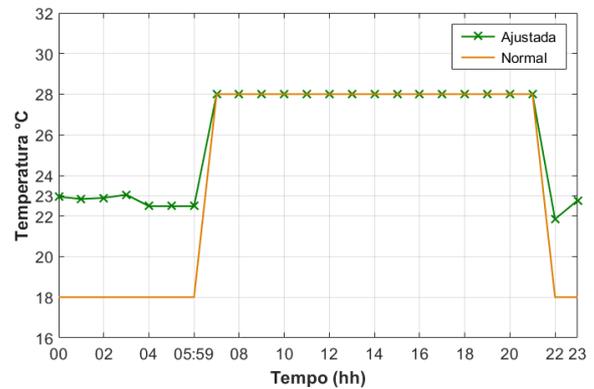
Nos testes realizados, foi constatado que ao selecionar as temperaturas menores ou igual a 19 °C, o equipamento não apresentou mudanças no consumo, ou seja, o compressor ficou o tempo todo ligado, portanto, ficou determinada para estas temperaturas o consumo máximo.

A Figuras 6 (a) e (b) ilustra os resultados do MGI para controle automático do condicionador de ar para estimar uma temperatura ideal. O teste foi realizado para demonstrar a eficiência do modelo proposto comparado ao uso normal do equipamento (sem a utilização de qualquer mecanismo de otimização do consumo de energia). As temperaturas ajustadas ficaram dentro do intervalo de conforto térmico das normas brasileira [6], [7].

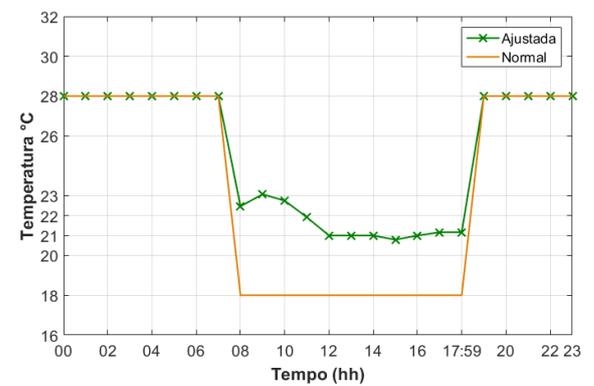
Os dados apresentados na Tabela 3 e 4 e na Figura 7 são as relações dos resultados do gerenciamento inteligente com o consumo aferido do condicionador de ar. A Tabela 3 mostra o consumo estimado para o dia 1 de janeiro de 2017, com redução para os dois períodos, porém, sendo mais eficiente durante a noite com 25% de redução no consumo por ter temperaturas externa menores que a do dia que mostrou redução de 21%.

A Figura 7 (a) e (b) ilustra o consumo de energia estimado para o ano de 2017. O resultado para o período noturno, compara o consumo normal com o ajustado mostrando a eficiência do

modelo proposto com redução em todos os meses. O consumo ajustado ficou abaixo de 110 kWh, enquanto o consumo normal ficou acima de 135 kWh. No modo normal o usuário seleciona apenas uma temperatura e permanece constante durante toda a utilização, e no ajustado o sistema escolhe a melhor temperatura para aquele momento, preservando o conforto térmico.



(a) Período noturno



(b) Período diurno

Fig. 6. Temperatura estimada para um dia.

TABELA III. CONSUMO ESTIMADO DE UM DIA

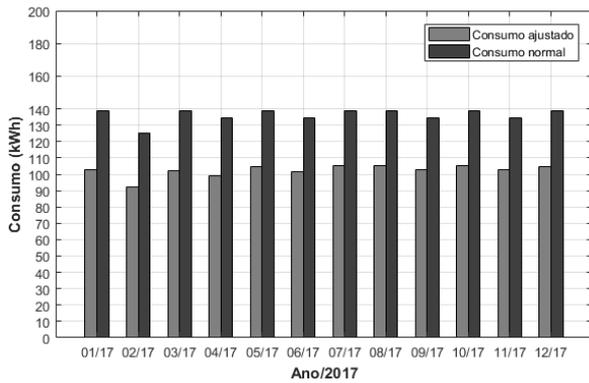
	Uso	Consumo (kWh)
Noite (22 as 6h)	Normal	4,48
	Ajustado	3,34
<b>Redução</b>		<b>25%</b>
Dia (8 as 18h)	Normal	5,6
	Ajustado	4,38
<b>Redução</b>		<b>21%</b>

No período diurno os resultados mostram um consumo maior para os dois modelos, esse comportamento pode ser explicado pela temperatura elevada durante o dia, contudo, o modelo foi mais eficiente que o convencional, com consumo abaixo de 145 kWh, enquanto o normal ficou acima de 155 kWh.

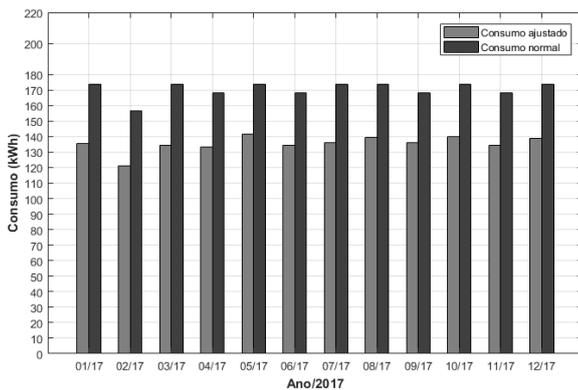
A Tabela 4 apresenta consumo normal e ajustado nos dois períodos e os valores de redução para cada mês do ano de 2017, sendo que alguns meses foram mais eficiente do que em outros. Os meses com maior redução no consumo, são aqueles com maior incidência de chuva, implicando em temperaturas mais baixas. No caso em que o usuário optasse pela SmartCoM com a presença do MGI, teria uma redução de 24,5% para período noturno e 20,1% para o diurno em média ao longo do ano de 2017.

VI. CONCLUSÃO

Este artigo, propôs a especificação e o teste de um módulo de gerenciamento inteligente a ser inserido na arquitetura de monitoramento residencial, para domínio de Smart Home, denominada SmartCoM. Este módulo é baseado em lógica Fuzzy para o controle inteligente de um condicionado de ar, onde a metodologia estabelecida mostrou-se eficiente para redução do consumo de energia, a partir das variáveis de entrada: o índice de conforto, temperatura interna e externa e umidade relativa do ar, como foi observado nos resultados. Os testes realizado utilizando os dados de 2017 determinaram a eficiência da solução em comparação a uma utilização convencional, com maior relevância em alguns meses do que outros, isso pode ser explicados pela incidência de chuvas na região implicando em temperatura mais baixas. Pode ser observado nos resultados que o gerenciamento inteligente conseguiu no geral uma redução relevante com média anual de 24,5% para o período noturno e 21,1% para o diurno mantendo um mínimo de conforto térmico ao usuário.



(a) Período noturno



(b) Período diurno

Fig. 7. Consumo estimado para o ano de 2017.

O modelo proposto demonstrou ser eficiente na redução de consumo e, principalmente, em manter o conforto térmico.

TABELA IV. ESTIMATIVA E REDUÇÃO DO CONSUMO DO ANO DE 2017

Meses	Noite (22 as 6h)			Dia (8 as 18h)		
	Normal (kWh)	Ajustado (kWh)	Redução	Normal (kWh)	Ajustado (kWh)	Redução
Jan.	138,8	102,8	25,9%	173,6	135,4	22,0%
Fev.	125,4	92,5	26,2%	156,8	120,9	22,9%
Mar.	138,8	101,9	26,6%	173,6	134,3	22,6%
Abr.	134,4	99,3	26,1%	168,0	133,4	20,6%
Mai.	138,8	104,3	24,9%	173,6	141,3	18,8%
Jun.	134,4	101,6	24,4%	168,0	134,2	20,1%
Jul.	138,8	105,5	24,0%	173,6	136,0	21,6%
Ago.	138,8	105,1	24,3%	173,6	139,4	19,7%
Set.	134,4	102,7	23,5%	168,0	136,2	18,9%
Out.	138,8	105,3	24,1%	173,6	140,0	19,3%
Nov.	134,4	102,6	23,6%	168,0	134,2	20,1%
Dez.	138,8	104,5	24,7%	173,6	138,6	20,1%
Média	138,8	102,7	24,5%	173,6	135,7	20,1%

Rodrigo Alfaia, Edvar Oliveira, Anderson Souto, Marcelino Silva, Carlos Renato Francês, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA, Brasil, E-mails: rd.alfaia@gmail.com, edvar.oliveira@ufpa.edu.br, anderson.freitas09@gmail.com, marcelino.silva@gmail.com, rfrances@ufpa.br. Este trabalho foi financiado pelo CNPq (475763/2013-0)

REFERÊNCIAS

- [1] D. Meana-Llorián, C. González García, B.C.P. G-Bustelo, J.M. Cueva Lovelle, N. Garcia-Fernandez, IoFClimate: The fuzzy logic and the Internet of Things to control indoor temperature regarding the outdoor ambient conditions, *Futur. Gener. Comput. Syst.* (2016). doi:10.1016/j.future.2016.11.020.
- [2] AL-ALI, A. R. et al. A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, v. 63, n. 4, p. 426-434, 2017.
- [3] CHAUDHURI, Tanaya et al. Machine learning based prediction of thermal comfort in buildings of equatorial Singapore. In: *Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, 2017 IEEE International Conference on. IEEE, 2017. p. 72-77.
- [4] OLIVEIRA, Edvar da L. et al. SmartCoM: Smart Consumption Management Architecture for Providing a User-Friendly Smart Home based on Metering and Computational Intelligence. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, v. 16, n. 3, p. 736-755, 2017.
- [5] IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads, *IEEE Std 2030-2011*, setembro. 2011.
- [6] ISO, En. 7730: 2005. Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.
- [7] ABNT, NBR. 6401. Instalações de centrais de ar-condicionado para conforto-Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.
- [8] LETTING, Lawrence K.; MUNDA, Josiah L.; HAMAM, Yskandar. Optimization of fuzzy logic controller design for maximum power point tracking in photovoltaic systems. In: *Soft Computing in Green and Renewable Energy Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 233-260.
- [9] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. 2017.
- [10] ROTHFUSZ, Lans P.; HEADQUARTERS, N. S. R. The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). Fort Worth, Texas: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology, v. 9023, 1990.
- [11] CENTER, Damage Assessment. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). US Department of Commerce: Edmonton, Canada, 1998.
- [12] AMERICAN SOCIETY OF HEATING et al. Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004.