



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GTL/06

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

APLICAÇÃO DA DOMÓTICA NO GERENCIAMENTO DE CARGAS RESIDENCIAIS E RESPOSTA DA DEMANDA EM AMBIENTES SMART GRID

SOUZA, A.T. (*)
UFSM

MILBRADT, R.G.
UFSM

CANHA, L.N.
UFSM

ANTUNES, M.A.
CEEE

RESUMO

A automação residencial traz aos usuários uma grande quantidade de funcionalidades de acordo com o tipo de sistema desenvolvido. Inúmeros benefícios podem fazer parte de sistemas pertencentes à domótica, como: melhor controle sobre o consumo de energia elétrica e controle de diferentes eletroeletrônicos por meio de uma mesma interface.

Este informe técnico tem como objetivo propor uma aplicação pertencente à domótica em conjunto à geração distribuída de energia elétrica (sistemas fotovoltaicos). Será proposto um sistema inteligente que reaja à demanda por energia elétrica (resposta da demanda), adaptável ao consumo consciente e que reduza os problemas associados à geração intermitente.

PALAVRAS-CHAVE

Automação residencial, geração distribuída, sistema fotovoltaico, sistema inteligente, resposta da demanda.

1.0 - INTRODUÇÃO

A utilização da tecnologia traz diversos benefícios, e sua aplicação no desenvolvimento de sistemas automatizados destinados ao ambiente residencial não é diferente. A automação residencial, também conhecida como domótica, visa proporcionar ao usuário diversas funcionalidades de acordo com o tipo de sistema desenvolvido, trazendo um maior conforto ao ambiente residencial. O termo domótica é proveniente da junção da palavra latina "Domus" (casa) com "Robótica" (controle automatizado de algo) [1].

Entre as diversas funcionalidades importantes que podem ser criadas através do uso da tecnologia na domótica, podem ser citados, como exemplo, o controle e gerenciamento de forma inteligente de: consumo de energia elétrica, iluminação e temperatura do ambiente residencial, além de aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

A partir da utilização da automação residencial inteligente, pode-se construir uma relação com o conceito de Geração Distribuída (GD) de energia. A GD pode ser entendida como a geração de energia elétrica próxima aos centros de consumo, aos usuários, através da instalação de geradores de pequeno porte. Um exemplo de tecnologia pertencente à GD é o painel fotovoltaico, que possui como característica a geração de energia elétrica através da irradiação solar, fonte de energia renovável e sustentável.

Após o estudo das diferentes tecnologias envolvidas na criação de sistemas pertencentes à domótica inteligente e busca por aplicações recentes, será proposta a criação de um sistema de automação residencial integrado à geração distribuída, mais precisamente ao sistema solar fotovoltaico. O sistema proposto deve trabalhar a partir do monitoramento de diferentes variáveis, como por exemplo: valor atual da tarifa cobrada pela concessionária de

energia elétrica nos casos em que o valor possui variação durante o dia (tarifa branca), geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico, consumo atualizado em tempo real da residência e nível de tensão de rede recebidos através da comunicação com o *Smart Meter* (medidor inteligente). Com isso, se possibilitará a integração a uma arquitetura de distribuição de energia elétrica, chamada de *Smart Grid* (Redes Elétricas Inteligentes).

Será proposto no presente trabalho um sistema adaptativo, que reaja de diferentes maneiras de acordo com diferentes dados monitorados (resposta da demanda), e que se proponha como uma solução tecnológica ao uso consciente de energia elétrica.

A partir da utilização da domótica inteligente, será buscado a diminuição de uso de energia elétrica, mas que ao mesmo tempo tenha pouco impacto no conforto das residências. Dados monitorados serão apresentados por meio de uma interface *WEB*, que pode ser acessada de maneira remota por diferentes dispositivos, como por exemplo: *smartphones*, computadores de mesa e *notebooks*. Além disso, será buscada a disponibilização ao usuário o controle de diferentes eletrodomésticos por meio da mesma interface.

2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente seção apresenta o contexto de estudo e os conceitos que serão importantes para o desenvolvimento do trabalho. É apresentado como a automação residencial e a geração distribuída (painéis fotovoltaicos) são caracterizados e qual o principal objetivo na integração dessas tecnologias. Além disso, são apresentados alguns sistemas pertencentes à domótica desenvolvidos recentemente.

2.1 Automação Residencial

Segundo [2], um sistema de automação residencial é composto por diversos componentes. O estado da residência é reconhecido e alterado usando os sensores e atuadores que são controlados pelo intermediador “gateway” residencial. A casa inteligente tradicional é implementada utilizando uma arquitetura centralizada, na qual o intermediador é o ponto central de decisão. Assim, o ponto central é o local com presença de algoritmos inteligentes para tomada de decisão.

A domótica está relacionada à instalação de tecnologia em residências, possuindo como objetivo melhorar a qualidade de vida das pessoas, aumentar a segurança e poder viabilizar o uso racional de recursos para seus habitantes [3].

A utilização da tecnologia em sistemas de automação residencial permite a criação de diversas funcionalidades de controle e monitoramento, como por exemplo: Iluminação residencial, tanto interna quanto externa; Aparelhos domésticos eletroeletrônicos (televisão, aparelhos de som) e aparelhos de climatização (ar-condicionado); Consumo de energia elétrica por parte do consumidor residente e geração por parte do sistema de geração distribuída.

Conforme Figura 1, é possível entender a gama de funcionalidades que um sistema de automação residencial pode proporcionar aos seus usuários, abrangendo o controle e monitoramento dos mais diversos tipos de cargas.



Figura 1 - Automação Residencial [4]

2.2 Geração Distribuída (GD) – Painéis Fotovoltaicos

Buscando uma segunda via de abastecimento de energia elétrica e consequente diminuição do uso de energia provinda de concessionárias, a utilização da geração distribuída vem aumentando, inclusive o uso de sistemas fotovoltaicos, que produzem energia elétrica a partir da irradiação solar. Os painéis fotovoltaicos possuem como importante característica a possibilidade de integração a arquitetura de uma residência.

Uma das vantagens da produção de energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos é a possibilidade de construção de grandes usinas geradoras próximas aos centros urbanos, até pequenas instalações situadas em coberturas de edifícios urbanos, dispensando as longas linhas de transmissão [5]. Um dos problemas associados à

geração distribuída é o fato de fontes renováveis serem intermitentes. A geração de energia eólica que depende da força do vento e a geração de energia solar que depende da incidência solar são exemplos que a geração de energia elétrica que estão expostas a variações meteorológicas que não podem ser controladas [6].

No Brasil, a tecnologia empregada em sistemas fotovoltaicos não é barata e a análise custo/benefício da instalação em residências fica a critério do usuário, visto que a agência reguladora não estabelece custo de geradores e eventuais condições de financiamento.

2.3 Estado da Arte – Trabalhos Recentes

O RUDAS é um sistema de automação residencial adaptativo aplicado a Internet das Coisas (IoT). O sistema proposto por [7] possui monitoramento e controle do ambiente residencial, incluindo: temperatura, umidade, verificação de vazamento de gás e detector de pessoas. Além disso, o sistema mede o consumo de energia elétrica e de água utilizada pelos usuários da residência.

O sistema utiliza como mecanismo de inteligência artificial a lógica *Fuzzy*, empregada com intuito de fazer o ajuste da intensidade de iluminação e da climatização de acordo com as variáveis captadas por sensores, buscando uma melhor utilização da energia elétrica. Para que isso ocorra, as informações são captadas por sensores para que sejam manipuladas com intuito de modificar a forma como o sistema se comporta. Dados sensorizados são mostrados aos usuários por meio de uma interface *WEB*, propiciando o gerenciamento e monitoramento eficiente do ambiente residencial, como por exemplo, o consumo de energia elétrica por parte das cargas residenciais.

O sistema proposto por [8] é um sistema de gestão inteligente de energia elétrica pertencente à automação residencial, que utiliza como tecnologias importantes: *Zigbee* para comunicação entre pontos da residência e servidor doméstico; Comunicação via rede elétrica (*Power Line Communication*, PLC) utilizando sinais de rádio (RF), com transmissão de dados de geração de energia elétrica por parte da geração distribuída.

Possui como característica principal a inclusão da geração distribuída de energia renovável (fotovoltaica e eólica). O servidor doméstico modifica o cronograma de dispositivos com base na geração de energia elétrica estimada, fazendo com que o gasto com energia seja reduzido. Um exemplo é: em dias com baixa geração de energia renovável, e em tempo de preço elevado a operação de vários dispositivos domésticos pode ser modificada.

Com isso, o sistema trabalha através da adaptação à geração de energia, o custo de energia cobrado, sendo característico da resposta da demanda. De acordo [9], a resposta da demanda pode ser definida como o ajuste de um padrão de consumo no espaço e no tempo a estímulos, como por exemplo, o valor de tarifas cobradas por energia elétrica e programas governamentais com intuito de se buscar a redução de consumo de energia elétrica por parte dos usuários.

3.0 - SISTEMA PROPOSTO

Na presente seção é apresentado o sistema de automação residencial integrado à geração distribuída, mais precisamente ao sistema fotovoltaico, chamado de Sistema Residencial Inteligente de Gestão de Energia Elétrica (SRIGEE). O sistema proposto se propõe a ser uma solução tecnológica para a melhor gestão de energia elétrica.

3.1 Características do Sistema

O sistema de automação residencial proposto é um sistema integrado à geração distribuída, que utiliza energia fotovoltaica como segunda via de abastecimento. Possui como funcionalidades o controle e gerenciamento de iluminação e climatização. Além disso, o controle de determinados aparelhos eletrodomésticos são abordados dentro do sistema proposto.

Possui como objetivo trabalhar a partir do monitoramento de dados, como por exemplo: Geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico; Valor da tarifa cobrada no momento pela concessionária de energia elétrica, nível de tensão e consumo atual da residência (fornecidos pelo *Smart Meter*). A partir do monitoramento do nível de tensão e valor da tarifa cobrada, o sistema proposto busca de forma adaptativa o ajuste de um padrão de seu consumo, se caracterizando como resposta da demanda ao abastecimento de energia elétrica por parte da concessionária.

O sistema proposto modifica sua forma de funcionamento a partir da variação dos diferentes dados monitorados. O estabelecimento e utilização de modos de operação residencial têm como objetivo a criação de um sistema que reaja de diferentes maneiras aos dados monitorados em tempo real, como por exemplo: Baixa geração de energia elétrica por parte do sistema de geração distribuída, oscilação no nível de tensão de rede ou temperatura elevada no ambiente residencial.

O usuário busca alterar o modo de como o sistema trabalha a partir de suas preferências, seja para buscar um maior conforto, ou até mesmo uma maior economia de energia elétrica. A criação de modos de operação diferentes é permitida por conta do desenvolvimento de um controlador que aplica a lógica *Fuzzy* para tomadas de decisão,

proporcionando a criação de conjuntos de diferentes regras *Fuzzy* para cada modo estabelecido.

Uma das propostas do sistema é a sua facilidade de acesso, sendo integrado com a *WEB*. Podendo assim, ser acessado por diferentes dispositivos, como: *smartphones*, computadores de mesa e *notebooks*. Através da integração com a *WEB*, é possível a apresentação da geração e consumo de energia elétrica em tempo real, tanto pela rede quanto pelo sistema fotovoltaico, além da verificação dos valores de tarifa cobrada pela concessionária.

3.2 Esquema de Blocos

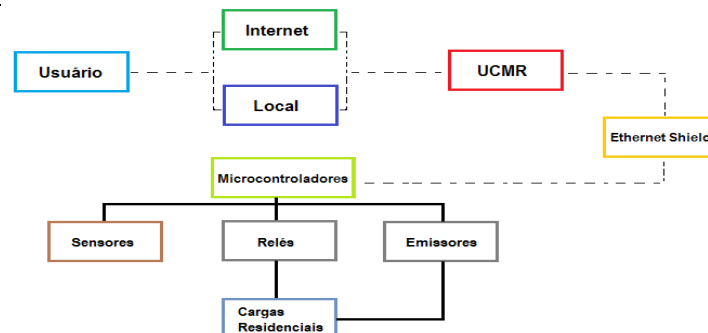


Figura 2 - Esquema de Blocos¹

3.3 Ilustração do Sistema Proposto

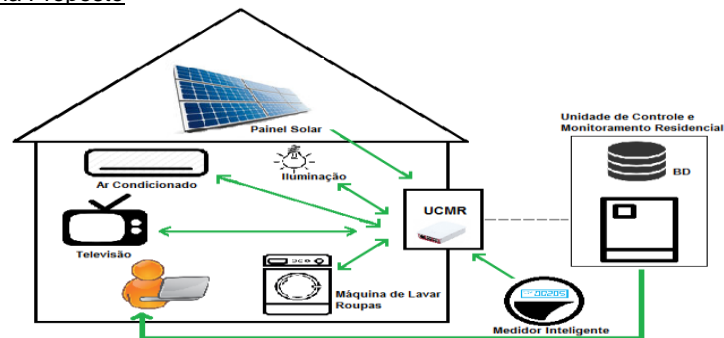


Figura 3 - Ilustração do Sistema²

3.4 Sistema de Gestão de Energia Inteligente - Funcionamento

Conforme Figura 2, O usuário pode acessar a interface criada para visualização de dados monitorados por meio do *browser* (navegador), bastando se conectar ao sistema tanto por rede local ou fora da residência. A Unidade de Controle e Monitoramento Residencial (UCMR) tem como uma das principais funcionalidades a disponibilização de uma página *WEB* e atualização de forma simultânea, contendo:

- Gráficos de consumo de energia elétrica por parte da residência e geração por parte do sistema fotovoltaico.
- Valor atualizado da tarifa cobrada pela concessionária de energia elétrica local.
- Grau de luminosidade e temperatura em determinados cômodos, além do estado atual de determinadas cargas, como lâmpadas e eletroeletrônicos, apresentando botões de controle as mesmas.
- Diferentes modos de operação – economia moderada, conforto e etc.

Além da disponibilização de uma página *WEB* para verificação de consumo e outras informações importantes pertencentes ao cenário atual da residência, a UCMR tem como funções de controle e monitoramento:

- Tratar dados de sensoriamento enviados por microcontroladores, sendo feito o armazenamento em uma base de dados.
- Tratamento dos dados armazenados no banco de dados, sendo aplicada a lógica *Fuzzy* para tomada de decisão.
- A partir de diferentes tomadas de decisão, ser feito o envio de ações aos atuadores presentes no sistema, microcontroladores que comandam módulos relé e emissores infravermelhos.

A UCMR é implementada através de um pequeno computador *Raspberry Pi 3*, responsável pela central do Sistema Residencial Inteligente de Gestão de Energia proposto. O *Raspberry Pi* é caracterizado como uma plataforma de prototipagem aberta, possuindo hardware e software flexíveis e de fácil utilização [10]. Foi escolhido para utilização no sistema proposto por conta de propiciar a programação de algoritmos através da linguagem *JAVA*, além da

¹ Fonte: Autoria Própria

² Fonte: Autoria Própria

possibilidade da integração com um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) para armazenamento de dados providos de um conjunto de sensoriamento criado. A partir disso, se permite a criação de uma unidade de gestão inteligente.

Conforme apresentado na Figura 3, o sistema busca trabalhar através de informações providas de um conjunto de sensoriamento, como por exemplo: luminosidade de determinados cômodos e geração de energia por parte do sistema fotovoltaico. Dados são enviados por microcontroladores *Arduino Mega* para a UCMR, e armazenados em um banco de dados (BD).

Conforme Figura 2, a comunicação entre *Arduino Mega* e UCMR se dá pela utilização de *Ethernet Shields*, placas conectadas aos microcontroladores. Com a conexão via *Ethernet*, os diversos microcontroladores presentes recebem uma gama de funcionalidades extras, entre elas o envio de dados via protocolo *HTTP* (*Hypertext Transfer Protocol* - Protocolo de Transferência de Hipertexto) ao servidor Java presente na UCMR.

A utilização de *Ethernet Shields* para comunicação entre microcontroladores e UCMR tem como principal motivo o seu baixo custo de aquisição e facilidade de configuração e utilização. Outras opções foram estudadas, como a utilização de *WIFI Shields* e dispositivos que possuem operação baseada na criação de redes sem fio de tecnologia *Zigbee*. Tanto *WIFI Shields* quanto dispositivos que operam baseados na tecnologia *Zigbee* dispensam a utilização de cabos de rede *Ethernet*, mas possuem custos maiores para aquisição.

O método *GET*, pertencente ao protocolo *HTTP*, foi escolhido para envio de dados por conta de sua simplicidade, pois os mesmos são informados como parâmetros diretamente na *URL* (*Uniform Resource Locator*). Os parâmetros são separados "&" e informados após o sinal de interrogação (?) presente após o endereço do servidor. Para o recebimento e tratamento de dados foi criado um servidor Java na UCMR, com integração a um SGBD. O SGBD escolhido para armazenamento de dados foi o *PostgreSQL*, disponível para utilização no sistema operacional *Raspbian* instalado no *Raspberry Pi*.

A utilização de microcontroladores *Arduino Mega* como indivíduos atuadores, conforme representado na Figura 3, permite a utilização de uma gama de sensores analógicos e digitais próprios de forma simples, o que não é possível utilizando apenas o *Raspberry Pi*. A utilização simplificada dos microcontroladores presentes no sistema, com funções definidas foi pensada por conta dos mesmos possuírem limitações de *hardware*, mas tendo como principal vantagem a disponibilização de uma grande quantidade de portas analógicas e digitais.

Tais limitações presentes nos microcontroladores escolhidos impedem a sua utilização como elemento central no sistema, o que impossibilita a utilização de algoritmos adaptativos complexos pertencentes a Inteligência Artificial. Com isso, as funcionalidades de microcontroladores ficam restritas ao controle de sensores e atuadores, recebimento de ações a serem executadas e envio de dados sensorizados à UCMR.

Para a manipulação de dados sensorizados armazenados na base de dados, aplicação da lógica *Fuzzy* para tomada de decisão e envio de ações da UCMR para os microcontroladores presentes no sistema foi desenvolvido um software na linguagem *Java*. A partir do desenvolvimento de um software flexível de acordo com o cenário atual e diferentes modos de operação, foi possível tornar a UCMR uma unidade de gestão inteligente do sistema. O controlador *Fuzzy* desenvolvido será explicado com maior detalhes na próxima seção do informe técnico.

Para o melhor controle e gerenciamento de energia elétrica, a instalação de um *Smart meter* (medidor inteligente) e sua integração ao sistema foi necessária. Os medidores inteligentes instalados em residências é parte de um conjunto de uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica (*Smart Grid* ou Redes Elétricas Inteligentes) que se busca, mais segura e inteligente, que integra e possibilita a todos os usuários a ela conectados diversas ações [11].

A integração do sistema proposto ao *Smart Meter* propicia ao sistema a melhor aplicação da lógica *Fuzzy*, visto que permite a criação de regras através de variáveis providas das informações disponibilizadas pela concessionária, como: o quanto de energia o usuário está consumindo no momento e quanto está a tarifa cobrada pela concessionária. Com isso, se incentiva a resposta da demanda (resposta do sistema aos diferentes cenários). Através da utilização da tecnologia *Zigbee*, foi possível a comunicação ponto a ponto entre a UCMR e o *Smart Meter*.

O sistema busca utilizar a tarifa branca para um melhor controle de consumo de energia elétrica. A tarifa branca é uma nova opção de tarifa que sinaliza aos consumidores a variação do valor da energia elétrica conforme o dia e o horário do consumo, destinada para unidades consumidoras atendidas em baixa tensão (127, 220, 380 ou 440 volts, denominadas de grupo B) e para aquelas pertencentes ao grupo A optantes da tarifa de baixa tensão [12].

Ademais, a integração ao *Smart Meter* permite ao sistema proposto o controle da qualidade da energia elétrica provida da concessionária local, através do aproveitamento de informações disponibilizadas, como por exemplo, o nível de tensão e controle de interrupções. O monitoramento do nível de tensão de rede proporciona ao sistema proposto o melhor controle sobre aparelhos eletrodomésticos e eletrônicos, visto que a variação de tensão elétrica pode ocasionar diminuição de vida útil dos mesmos.

As variações de tensão em uma rede de energia elétrica ocorrem por diversos fatores. Nos horários de pico de consumo (alta demanda), quando a corrente se eleva, a tensão pode sofrer quedas bastante grandes [13]. Isso significa que a concessionária responsável pelo abastecimento de energia elétrica não consegue suprir de uma alta demanda sem que ocorra perturbações na rede de distribuição.

Além do controle sobre aparelhos eletrodomésticos e eletrônicos, o monitoramento do nível de tensão de rede proporciona ao sistema saber como está o fornecimento de energia elétrica, mesmo que de forma indireta, por parte da concessionária local em tempo real. Através da variação do nível de tensão em horários de pico, o sistema proposto pode mudar a sua forma de funcionamento. Variações no nível de tensão podem ser interpretadas como sinais para diminuição da demanda da residência (resposta da demanda).

Para controle e monitoramento dos cômodos foram utilizados: Sensores de luminosidade 5mm – LDR (Light-Dependent Resistor ou resistor dependente de luz) e sensores digital de temperatura e umidade DHT11 dispostos nos diferentes cômodos da residência; Emissores e receptores infravermelho (IR) para controle de aparelhos eletroeletrônicos comandados via IR; Módulos relé 5V (*volts*) para acionamento de iluminação.

3.5 Lógica Fuzzy – UCMR

A lógica *Fuzzy* foi escolhida para tomada de decisão no sistema proposto por tratar melhor imprecisões de diferentes tipos de dados monitorados. Segundo [14], a lógica *Fuzzy*, diferente da lógica Booleana que admite apenas valores booleanos, ou seja, verdadeiro e falso, trata de valores que variam entre 0 e 1. Assim, uma pertinência entre 0.5 pode representar meio verdade, logo 0.9 e 0.1, representam quase verdade e quase falso, respectivamente, sendo assim, mais flexível com dados monitorados do que a lógica Booleana.

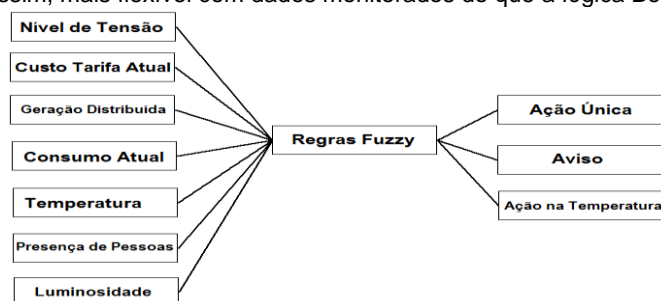


Figura 4 - Esquema Lógica Fuzzy Desenvolvida³

A partir do estudo de quais dados provindos de monitoramento seriam importantes para auxílio a tomada de decisão em diferentes ocasiões, foram estabelecidas, conforme Figura 4, as seguintes entradas para aplicação da lógica *Fuzzy*:

- Nível de tensão de rede e custo atualizado de tarifa cobrada pela concessionária local (tarifa branca).
- Geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico e consumo atual de energia por parte da residência.
- Temperatura e luminosidade, além da presença de pessoas nos diferentes cômodos da residência.

A partir do estabelecimento das entradas para a lógica *Fuzzy*, foi necessária a normalização dos valores referentes a cada entrada estabelecida. Com isso, se buscou a criação de níveis entre 0 e 1, a fim de permitir um universo de valores maior, visto que cada valor monitorado deve ser normalizado em um valor entre o estabelecido (0 e 1). A normalização de valores torna a lógica *Fuzzy* mais flexível aos diferentes tipos de dados monitorados.

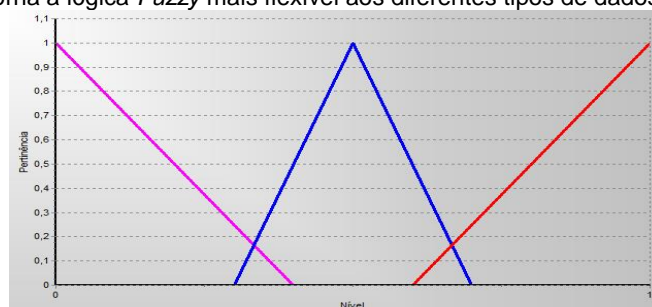


Figura 5 - Variável de entrada - Temperatura - Normalização e Funções definidas⁴

Foram escolhidos termos linguísticos e funções características para cada entrada, como por exemplo: Temperatura - quente (função rampa direita - vermelho), frio (função rampa esquerda - rosa) e temperatura normal (função triangular - azul), conforme representado graficamente na Figura 5.

³ Fonte: Autoria Própria.

⁴ Fonte: Autoria Própria, através da manipulação da ferramenta InFuzzy (POSSELT; FROZZA; MOLZ, 2011).

As variáveis de saída foram definidas de acordo com as ações que o sistema deve executar de forma automática. Foram escolhidas como variáveis de saída: Ação única – ação simples ligar e desligar, aplicada no controle de iluminação da residência; Ação na temperatura – utilizada para regulação da temperatura nos diferentes cômodos presentes na residência; Aviso – mostrado na interface *WEB* ao usuário do sistema, com intuito haver o esclarecimento sobre a atuação do sistema, mostrando informações de gerenciamento de energia elétrica.

A definição das variáveis de entrada e saída possibilitou a criação de diversas regras *Fuzzy* para o controlador, de maneira a proporcionar uma operação diferente para cada modo de operação. Para isso ocorrer foram estabelecidas regras *Fuzzy* próprias para cada modo estabelecido:

- Conforto: menor ênfase no consumo de energia (da concessionária ou gerada pelo sistema fotovoltaico) e no custo da tarifa cobrada pela concessionária, possibilitando um maior conforto.
- Economia Moderada: busca a melhor utilização de energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico, mas com certo conforto aos usuários. Estabelecido como o modo padrão de funcionamento do sistema, com utilização moderada de energia elétrica.
- Economia Total: modo de operação com maior ênfase na diminuição de consumo de energia elétrica.

3.6 Resultados Apresentados

Através da implementação de lógica na construção de um controlador *Fuzzy* para a tomada de decisões de forma inteligente, foi obtida a utilização da melhor forma dos recursos disponíveis. A partir da introdução da lógica *Fuzzy* para tomada de decisão, modos de operação foram criados, e com isso foi possível melhorar a gestão energética, inclusive da energia gerada pelo sistema fotovoltaico. A utilização da tarifa branca permitiu o sistema proposto modificar o uso de energia elétrica provinda da concessionária no período de maior demanda, atendendo o incentivo a resposta da demanda e possibilitando a diminuição do gasto ao final do mês com energia comprada.

Com o gerenciamento tanto de iluminação quanto de climatização sendo feito de forma automática pelo sistema de automação residencial proposto, permitiu-se uma maior comodidade no ambiente residencial, conforme Figura 6 (interface da direita). A disponibilização de botões para comandos de eletroeletrônicos em uma mesma interface *WEB*, podendo ser acessado por meio de um *browser*, possibilitou uma melhor ergonomia aos usuários, dispensando a utilização de diferentes controles remotos.

A integração do *Smart Meter* no sistema permitiu monitorar e tratar através da lógica *Fuzzy*, em tempo real, variáveis como: tarifa cobrada pela energia elétrica provinda da concessionária e o consumo de energia por parte da residência. Além disso, o monitoramento de nível de tensão de rede proporcionado pelo uso do *Smart Meter*, colocado como uma das variáveis para tomada de decisão pela lógica *Fuzzy* permitiu o melhor controle, mesmo de forma indireta, do abastecimento de energia elétrica por parte da concessionária.

Foi buscada a criação de um sistema pertencente à domótica, que trabalhasse de forma transparente, e para isso ocorrer, a disponibilização de informações gerenciadas em uma página *WEB* foram necessárias, conforme Figura 6 (interface da esquerda). Através da visualização de dados como gráficos de consumo e geração de energia elétrica foi entendido que o usuário tende a atuar de forma conjunta ao sistema, aderindo ao consumo de energia que atenda a sua realidade financeira.

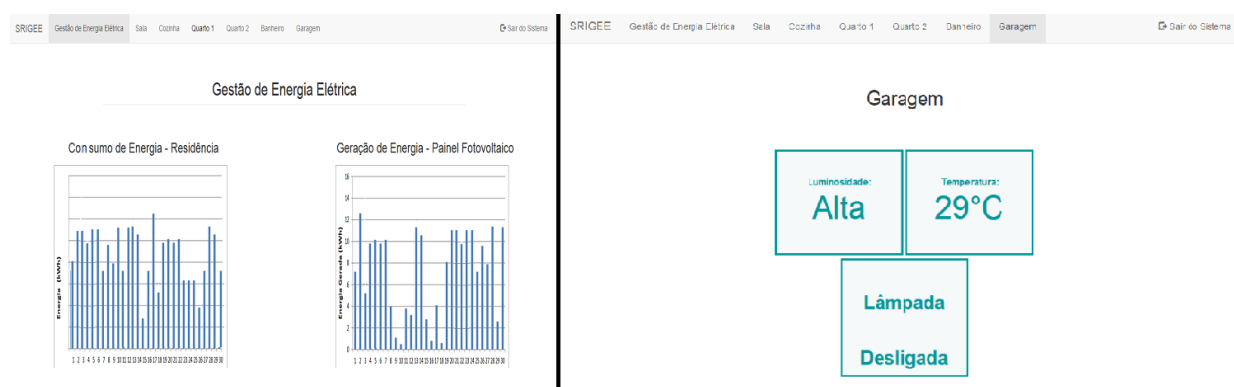


Figura 6 - Interface do Sistema Proposto⁵

A criação do sistema de automação residencial permitiu também sua utilização sem a integração da geração de energia elétrica por parte da geração distribuída, visto a flexibilidade do controlador *Fuzzy* desenvolvido, proporcionado por conta da quantidade de regras criadas para os diferentes modos de operação definidos.

⁵ Fonte: Autoria Própria.

4.0 - CONCLUSÃO

Com o crescente aumento de demanda por energia elétrica por parte dos usuários residenciais no País e o aumento de taxas tarifárias cobradas pela energia comprada de concessionárias, a proposta de criação de sistema de automação residencial integrado ao sistema fotovoltaico aplicando tecnologias de custo acessível (*Raspberry Pi* e *Arduino*) permitiu a busca de formas inteligentes de atuação.

Através da utilização da lógica *Fuzzy* como mecanismo de tomada de decisão, foi permitida a criação de um sistema flexível, que trabalha de diferentes modos e proporciona ao usuário um gerenciamento residencial. Através do sistema proposto foi possível buscar a melhor utilização tanto da automação residencial quanto da GD, especificamente o uso de sistemas fotovoltaicos como segunda via de abastecimento de energia elétrica, diminuindo problemas associados à geração intermitente característica do uso da energia solar, como por exemplo, a menor geração de energia elétrica em dias nublados.

O sistema proposto utilizado em mais residências possibilitaria às concessionárias de energia elétrica a mudança de mecanismos que buscam a manutenção da confiabilidade da rede de distribuição. Isso seria alcançado por conta do incentivo da resposta da demanda, ou seja, o trabalho a partir da modificação de gerenciamento residencial a partir de estímulos, como por exemplo, a variação do nível de tensão da energia provida da concessionária. O desenvolvimento de sistemas de automação residencial inteligentes, que buscam a melhor gestão de energia elétrica proporciona a integração e o maior desenvolvimento da arquitetura de distribuição de energia elétrica *Smart Grid*.

Para trabalhos futuros, será estuda a viabilidade de uma maior aplicação da tecnologia *ZigBee*, visto que é uma tecnologia que possui muitos benefícios. A partir da utilização da tecnologia *ZigBee*, haverá uma modificação na arquitetura do atual sistema e consequente menor utilização de *Ethernet Shields* conectados a microcontroladores no sistema, diminuindo a utilização de cabos *Ethernet*. Com isso a utilização da tecnologia *Zigbee* se permite a criação de redes sem fio para troca de informações e comandos entre os elementos presentes no sistema.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANGEL, P. M. Introducción a la domótica; Domótica: controle e automação. Escuela Brasileña - Argentina de Informática. EBAI. (1993).
- (2) SCHOLZ, MARKUS; FLEHMIG, GESINE; R. SCHMIDTKE, HEDDA; H.SHOLZ, GERHARD. Powering Smart Home intelligence using existing entertainment systems. Intelligent Environments (IE), 2011 7th International Conference on.
- (3) JAIR CARDOSO, ADILSON; A.GASPAR, GABRIEL; B.FONTANA, FELIPE. Automação Residencial (domótica) com Controle por Celular. SEPEI 2013 – Seminário de Pesquisa e Extensão e Inovação do IFSC.
- (4) VIVER BEM AGORA. Automação – Uma casa que trabalha para você viver melhor. Disponível em: <<http://www.viverbemagora.com.br/2014/03/automacao-uma-casa-que-trabalha-para-voce-viver-melhor/>>. Acesso em: 20/02/2017.
- (5) LISITA JÚNIOR, ORLANDO. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso – 3kWp instalados no estacionamento do IEE-USP. 2005.
- (6) LOPES, YONA; FERNANDES, NATALIA CASTRO; MUCHALUAT-SAADE, DÉBORA CRISTINA. Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação. 2015.
- (7) CRISNAPATI, P.N; WARDANA, I.N.K; ARYANTO, I.K.A.A. RUDAS: Energy and sensor devices management system in home automation. 2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP), Bali, Indonesia.
- (8) JINSOO, HAN; CHANG-SIC, CHOI; WAN-KI, PARK; ILWOO, LEE; SANG-HA, KIM. Smart Home Energy Management System Including Renewable Energy Based on ZigBee and Power Line Communication. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 60, No. 2, May. 2014.
- (9) MAURER, LUIZ. Tarifas que Incentivam a Resposta da Demanda (DR) = Eficiência Energética (EE) e o Gerenciamento da Carga (DSM). International Seminar on Electricity Tariff Structure. 2009.
- (10) CROTTI, Y.; DA SILVA, J.B.; MARCELINO, R.; VILSON, G.; CASAGRANDE, L.C.S. Raspberry PI e Experimentação Remota. ICBL2013 – International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning. 2013.
- (11) COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). O que são as redes inteligentes de energia? Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nos.aspx/> Acesso em: 20/02/2017.
- (12) AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). ANEEL aprova tarifa branca, nova opção para os consumidores a partir de 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-aprova-tarifa-branca-nova-opcao-para-os-consumidores-a-partir-de-2018/656877?inheritRedirect=false/> Acesso em: 10/03/2017.
- (13) INSTITUTO NEWTON C. BRAGA. Flutuações da tensão da rede de energia (EL021). Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/eletrica-domiciliar/2306-el021.html%E2%80%83/>> Acesso em: 25/02/2017.
- (14) SILVA, RENATO AFONSO COTA. Inteligência artificial aplicada à ambientes de Engenharia de Software: Uma visão geral. Universidade Federal de Viçosa, 2005.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Alisson Trindade Souza.

Técnico em Eletrotécnica (Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2013).

Aluno do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet (2013-Atualmente).

Estagiário no projeto de pesquisa “Controle dinâmico inteligente para reguladores de tensão e sistemas supervisórios (CDI-RT) em ambiente smart grid.”.



Rafael Gressler Milbradt.

Ciência da Computação (UFSM, 2004).

Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (UFSM, 2007).

Doutorado em Engenharia Elétrica (UFSM, 2015).

Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Maria.



Luciane Neves Canha.

Engenharia Elétrica (UFSM, 1994).

Mestrado em Engenharia Elétrica (UFSM, 1996).

Doutorado em Engenharia Elétrica (UFSM, 2004).

Professora Associada 3 da Universidade Federal de Santa Maria.

Pesquisadora PQ-1D do CNPQ.



Marcio de Abreu Antunes.

Curso Técnico Profissionalizante (Escola Técnica Estadual Parobé, 2004).

Engenharia Elétrica (PUCRS, 2012).

Engenheiro Eletricista com ênfase em Sistemas de Energia – CEEE.