

AUTOMAÇÃO DE UMA SALA DE AULA: UM PROJETO DE BAIXO CUSTO

Abstract– Using the Internet of Things, school environments have been researched so that automation can be brought into the classroom, emerging the Smart Classroom concept. Considering that there is evidence that the automation of electrical equipment in school environments can promote significant reductions in energy consumption, the prototype of a non-invasive wireless system was developed to automate a classroom and monitor its electrical consumption using sensors, actuators and networked database in order to provide a comfortable and energy efficient environment. The prototype, after being installed in a pilot classroom, allowed to observe a situation of waste of electric energy and after implementing the automation of the room, it was verified a better use of the air conditioner. The developed prototype stores the air-conditioning consumption data in a database, allowing several statistical analyzes to be used to identify different consumption patterns.

Keywords– Smart Classroom, Internet of Things, Energy Efficiency.

Resumo– Utilizando conceitos de Internet das Coisas, os ambientes escolares têm sido alvo de pesquisas para que se possa trazer a automação para dentro da sala de aula, surgindo assim o conceito de Salas de Aula Inteligentes. Tendo em vista que há evidências de que a automação de equipamentos elétricos em ambientes escolares pode promover reduções significativas no consumo de energia, foi desenvolvido o protótipo de um sistema sem fio não invasivo para automatizar uma sala de aula e monitorar seu consumo elétrico utilizando sensores, atuadores e banco de dados em rede, a fim de proporcionar um ambiente cômodo e energeticamente eficiente. O protótipo, após ter sido instalado em uma sala de aula piloto, proporcionou observar uma situação de desperdício de energia elétrica e, após implementar a automatização da sala, constatou-se um melhor aproveitamento do aparelho de ar condicionado. O protótipo desenvolvido armazena os dados de consumo do ar-condicionado em um banco de dados, permitindo que sejam utilizadas diversas análises estatísticas para identificar diferentes padrões de consumo.

Palavras-chave – *Smart Classroom*, Internet das Coisas, Eficiência Energética.

1 Introdução

Desde os anos cinquenta, os sistemas de automação têm se tornado uma ferramenta indispensável na execução de tarefas que requisitam qualidade, produtividade e confiabilidade. Inicialmente, sistemas automatizados eram realidade somente no âmbito industrial e, posteriormente, foi se difundindo para os mais diversos cenários (Singh, Chitransh and Tanwar 2016). Neste sentido, atualmente, os ambientes escolares têm sido alvo de pesquisas que visam trazer os benefícios da automação para dentro das salas de aula (Aguilar, 2016).

A Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) é um conceito que está intimamente associado à automação, interligando diversos dispositivos em rede e processando os dados gerados por estes dispositivos (Wollschlaeger, Sauter and Jasperneite, 2017). Ao dispor a capacidade de comunicação entre estes dispositivos conectados na rede, surge então um certo nível de inteligência do sistema, onde o mesmo pode aprender novos padrões para adaptar-se a diferentes circunstâncias.

Um problema identificado nas salas de aula é o acionamento dos aparelhos de ar condicionado e iluminação, os quais apresentam um percentual importante do consumo de energia elétrica – representando um custo acentuado para a administração. Há evidências de que a automação de equipamentos elétricos em ambientes escolares podem promover uma redução significativa no consumo de energia elétrica (Gupta; Gupta; Chhabra, 2015).

Partindo da premissa da eficiência energética, foi desenvolvido uma solução que sanaria este problema em uma sala das dependências do IFPB *Campus* Cajazeiras. Assim então, foi prototipado um *hardware* e desenvolvido um *software* responsável por automatizar o sistema de iluminação e climatização de uma sala de aula visando ainda o baixo custo.

Em suma, a sala piloto é capaz de ser controlada a distância (controle da iluminação e temperatura), supervisionada e também funcionar em modo automático (acionamento automático das luzes e do equipamento climatizador em uma determinada hora).

O protótipo desenvolvido armazena os dados de consumo do ar-condicionado em um banco de dados, permitindo que sejam traçados perfis de consumo. A partir dessa base de dados do consumo elétrico das salas será possível desenvolver sistemas de classificação para detectar anomalias nos equipamentos, sistemas de regressão para prever o consumo de energia elétrica e realizar análises estatísticas do consumo elétrico, proporcionando um melhor uso dos equipamentos elétricos.

2 Internet das Coisas e *Smart Classroom*

A IoT, conectando os objetos entre si e estes as pessoas, tem nos levado a produzir e a absorver um volume cada vez maior de conteúdo. Estima-se que 90% dos dados armazenados atualmente tenham sido produzidos nos últimos dois anos.

Para a Firjan (2016) Internet das Coisas é “a rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos

com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos”. Para tanto existe uma infraestrutura de comunicação para prover conexão entre objetos físicos e virtuais, gerando um grande volume de processamento de dados, que objetivam comandar e controlar diversos dispositivos.

Conforme Mesnil (2014, apud Keller, 2016), o MQTT é um protocolo de mensagens leve, compacto e simples, que, utilizando uma arquitetura do tipo *Publish/Subscriber* (Publicador/Assinante), comunicando-se com um *Broker*, o qual gerencia estas assinaturas. O paradigma *Publish/Subscriber* foi projetado para trabalhar com uma grande quantidade de clientes, conectados simultaneamente em um mesmo servidor (*Broker*), possuindo uma arquitetura perfeitamente ajustável à construção de redes e de aplicações em IoT (Collina, Corazza and Vanelli-Coralli, 2012 apud Keller, 2016). A realidade é que, na arquitetura MQTT, tanto os *Publishers*, quanto os *Subscribers*, são clientes, que se conectam a um servidor (*Broker*). O detalhe, no entanto, é que um mesmo cliente MQTT pode ser simultaneamente *Subscriber* e *Publisher* de diversos tópicos (Lampkin et al., 2012 apud Melo, 2016).

De forma geral, em um protocolo MQTT a comunicação realiza-se da seguinte forma: o *Publisher*, ou “escritor”, envia as informações ou mensagens para o *Broker* (servidor), que as publica nos tópicos disponíveis. Os *Subscribers*, ou seja, os assinantes desses tópicos recebem então as informações publicadas pelo *Publisher* no *Broker*. É interessante destacar que, apesar da comunicação ser do tipo “Máquina a Máquina” (M2M ou *Machine-to-Machine*), não existe a comunicação Cliente/Cliente, ou “Ponto a Ponto” (P2P ou *Peer-to-Peer*). No protocolo MQTT, toda a comunicação deve necessariamente ser realizada por intermédio do *Broker* (Melo, 2016).

Utilizando a Internet das Coisas, o conceito de *Smart Classroom* aparece na literatura se referindo à um ambiente educacional equipado com módulos de *hardware* e *software* capazes de realizar de forma automática, e algumas vezes inteligente, tarefas do processo diário de ensino-aprendizado (Zhu, 2016).

3 Materiais e Métodos

Os materiais e métodos utilizados neste trabalho serão descritos em dois blocos: *Software* e *Hardware*.

3.1 Software

Para este projeto, diferentes sistemas embarcados foram utilizados, mas todos comunicando entre si através do protocolo MQTT. Existem diversos servidores (*broker*) MQTT disponíveis para uso, servidores esses que podem ser

código aberto ou fechado, cada um com suas características. Para esta ocasião, foi utilizado o Mosquitto (Eclipse, 2018), um *Broker* de código aberto eficiente no processamento das mensagens e consumo de memória.

Para o monitoramento dos sensores e controle dos atuadores, foi utilizado o SoC ESP8266 (ESP8266EX, 2018), um microcontrolador de 32 bits com clock de até 160 MHz e com Wi-Fi integrado. Este microcontrolador pode ser programado utilizando a linguagem própria do Arduino. Já o banco de dados e *Broker* MQTT estão hospedados em uma *Raspberry Pi 3*, um minicomputador de 1.2GHz de *clock*, com sistema operacional baseado em Linux embarcado. A arquitetura do sistema é exibida na Figura 1.

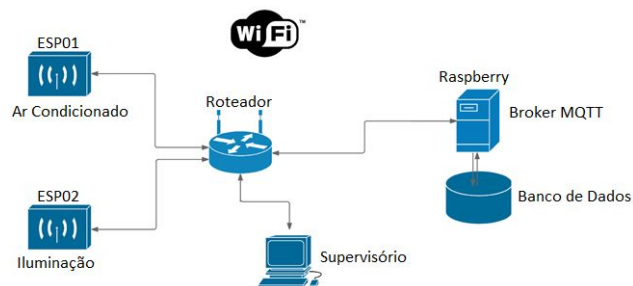


Figura 1 - Arquitetura do sistema.

Sendo assim, foram desenvolvidas rotinas para o microcontrolador se conectar a uma rede Wi-Fi predefinida, conectar-se ao *Broker* MQTT, enviar mensagens referentes ao estado da sala e receber os dados de controle. Já na *Raspberry*, onde o *Broker* MQTT e o banco de dados estão hospedados, foi utilizado a linguagem *Python* para configurar o banco de dados e as rotinas de automatização da sala de aula. Para ambas plataformas se comunicarem foi utilizado o protocolo MQTT. Esta comunicação entre plataformas foi feita inteiramente sem fio.

3.2 Hardware

A seguir serão descritos os elementos de *hardware* utilizados neste trabalho, os quais podem ser divididos em dois blocos: sensores e atuadores.

3.2.1 Sensores

Este sistema utilizou-se de dois sensores: sensor de corrente e sensor de tensão. O sensor de tensão tem por finalidade o monitoramento do estado real que a luz se encontra, então foi desenvolvido um sensor de baixo custo discreto (binário) baseado no componente 4N25 (optoacoplador), como mostra a Figura 2.

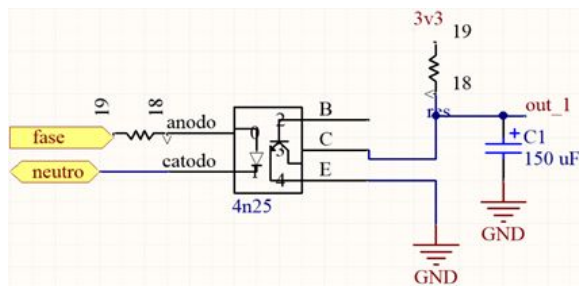


Figura 2 - Sensor de tensão.

Além de seu baixo custo de produção (aproximadamente R\$2,00), este sensor pode ser ligado a uma entrada digital, poupando assim a única entrada analógica que a ESP8266 possui.

Já o sensor de corrente, é responsável pela leitura da corrente consumida pelo ar-condicionado. O sensor selecionado para esta aplicação foi o ACS712 (30A), um sensor de baixo custo (por volta de R\$15,00 para compra de poucas unidades) do tipo invasivo.

Com os valores da corrente e assumindo uma tensão fixa da rede elétrica (220V ou 110V) é possível calcular o consumo elétrico do equipamento de climatização. Este dado é de suma importância uma vez que a maior parte do consumo elétrico de uma sala de aula é por conta do ar condicionado. Municiado desses dados e com o sistema e automatização se torna possível planejar uma melhor gestão da energia elétrica da sala de aula.

3.2.1 Atuadores

Como atuador, foram utilizados dois componentes: o relé e o led infravermelho emissor. Para o controle do ar-condicionado foi utilizado o led TLN227, um led emissor de Infravermelho de alto poder de radiação, para transmissão óptico-espacial. Este emissor apresenta resposta de alta velocidade (30ns), tendo sido especialmente projetado para aplicações *Wireless*.

Para o microcontrolador realizar o acionamento de dispositivos infravermelho (ar condicionado), foi necessário decodificar o sinal que é enviado do controle original para o equipamento. Essa decodificação foi feita com o auxílio do osciloscópio.

O relé foi utilizado para realizar o acionamento da iluminação, já que este é uma chave eletromecânica discreta. Porém é preciso um circuito de potência para utilizar o relé, já que sua corrente e tensão de excitação ultrapassam a corrente/tensão suportada pelo microcontrolador. O circuito utilizado foi o demonstrado a seguir, na figura 3.

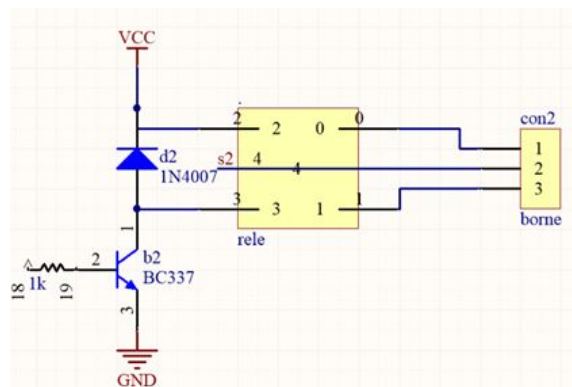


Figura 03 - Circuito de acionamento.

Outra vantagem de se utilizar o relé como chave de acionamento é a possibilidade de ligar o sistema no padrão *three way*, deixando o sistema independente da instalação original e vice-versa, ou seja, uma não depende da outra para funcionar.

4 Resultados Obtidos

Esta seção apresenta o *hardware* prototipado, a instalação em uma sala de aula e os dados coletados pelo sistema em funcionamento durante cinco dias.

4.1 Placa de circuito impresso (PCI)

Para acomodar todos componentes do sistema, foi prototipada uma placa de circuito impresso em uma fresa CNC (LPKF) desenvolvida no *software CAD Circuit Maker* (Altium, 2018), cuja visão 3D é apresentada na Figura 4.

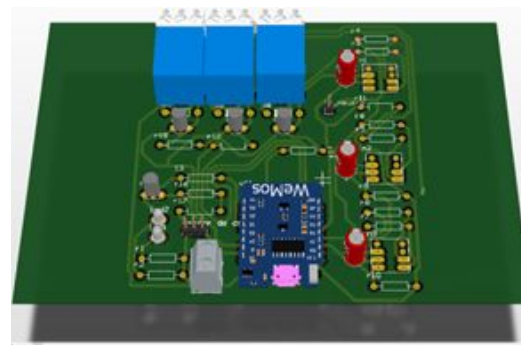


Figura 4 - Placa de circuito impresso.

A confecção desta placa teve uma duração aproximada de 30 minutos e um custo aproximado de R\$70,00.

4.2 Instalação do sistema Sala de aula modelo

A sala de aula selecionada para receber o sistema possui três conjuntos de luz e um equipamento refrigerador. Visando uma instalação limpa e não invasiva, foram utilizados dois microcontroladores: o primeiro, responsável pelo monitoramento e controle da iluminação, como exibido na Figura 5.



Figura 05- Sistema responsável pela iluminação.

E o segundo microcontrolador encarregava-se do supervisionamento e acionamento do ar-condicionado e/ou qualquer outro dispositivo que possuía a interface infravermelho, conforme mostrado na Figura 6.



Figura 6 - Sistema responsável pelo controle do ar-condicionado.

Os microcontroladores foram conectados a rede Wi-fi já existente no *Campus*, eliminando assim custos e trabalho para montar uma nova arquitetura de rede. Ainda utilizando-se da Wi-fi do *Campus*, a *Raspberry Pi* também se conectou a rede para hospedar o banco de dados e o broker MQTT.

Objetivando validar o protótipo desenvolvido, foram coletados dados de cinco dias de funcionamento do protótipo para uma análise inicial. O gráfico da corrente consumida pelo ar condicionado ao longo dos cinco primeiros dias de funcionamento do protótipo pode ser visualizado na Figura 7. Neste gráfico, pode-se perceber claramente os momentos nos quais o ar condicionado ficou desligado, assim como também a ocorrência de correntes de pico ao ligar o aparelho.,

O gráfico da Figura 8 apresenta um recorte do primeiro dia de funcionamento do protótipo, no qual é possível perceber um uso ineficiente do aparelho de ar condicionado. Observando a Figura 8, nota-se um desperdício de energia elétrica, já que as aulas encerram às 11:45h e retornam às 13:00h, logo temos um período com a sala vazia, mas ainda assim o equipamento refrigerador continuou em funcionamento constante.

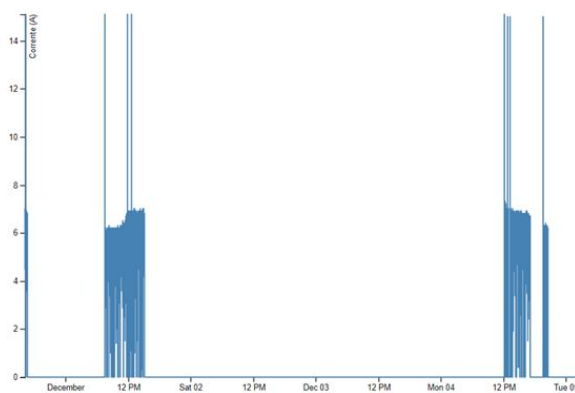


Figura 7 - Corrente consumida pelo ar-condicionado.

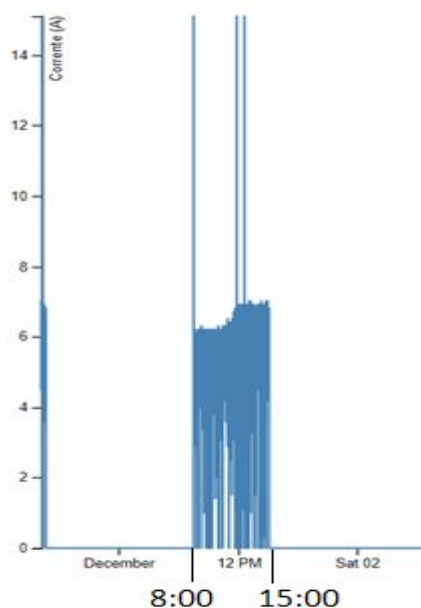


Figura 8 - Consumo de um dia típico.

Em apenas um dia de funcionamento normal da sala de aula, pode-se constatar que no intervalo de 1 hora e 15 minutos o ar condicionado estava ligado desnecessariamente. Considerando ainda a existência de outras dezenas de salas, é relevante o desperdício de energia elétrica.

Tendo em vista este desperdício de energia elétrica, foi implementado um algoritmo de acionamento/desligamento automático das luzes e do ar-condicionado, baseado no horário da sala. Este algoritmo tem a função de acionar a sala (ligar o ar-condicionado e as luzes) quando se iniciam as aulas, desligar a sala no horário de almoço, ligá-la novamente no retorno das aulas do período vespertino e desligá-la no término das aulas. Este algoritmo pode ser validado por meio de análise dos dados coletados e exibidos na Figura 9, uma segunda-feira típica que, na sala em questão, só tem aula em parte do período vespertino.

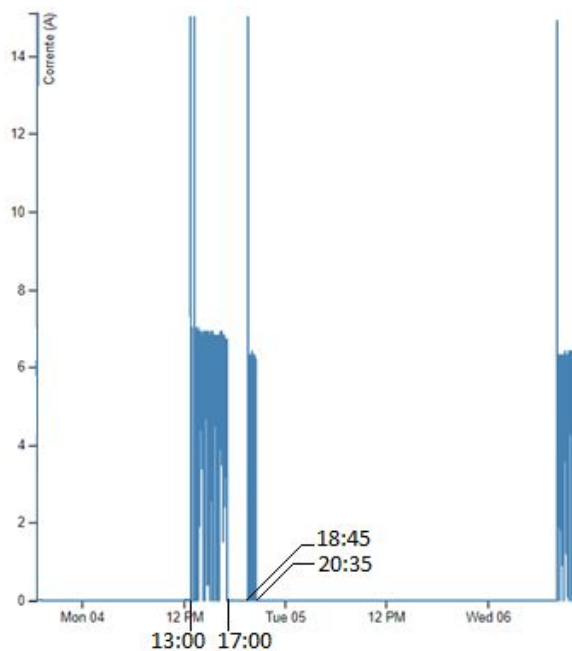


Figura 9 - Consumo com sistema de automação.

Neste dia em questão, a sala a qual o protótipo estava instalado teve aula no período vespertino, das 13:00 as 17:00, e no período noturno, das 18:45 às 20:35. Em todo momento que a sala esteve em uso, o ar-condicionado encontrava-se acionando, proporcionando um ambiente confortável para seus usuários. Já nos períodos que não havia aula (de acordo com os horários disponibilizados pelo site da instituição), o ar condicionado e todo conjunto de luzes foram desligadas, evitando assim desperdícios de energia elétrica.

Por fim, também foi avaliada a velocidade de resposta do sistema, tendo sido realizado um teste de latência, seguindo a seguinte configuração ilustrada na Figura 10.

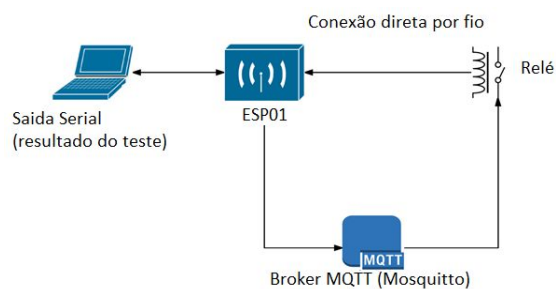


Figura 10 - Configuração para teste de latência.

A latência do sistema é estipulada ao calcular o tempo que o sistema demora para responder a um estímulo, ou seja, o tempo entre o computador enviar o comando para a ESP01 e a ESP01 responder ao comando. Este teste foi realizado diversas vezes e obteve como resultado o tempo médio de 0,238 segundos, uma latência satisfatória para esta aplicação.

Para o usuário se comunicar com o sistema, foi desenvolvido uma interface gráfica onde o sistema disponibiliza informações instantâneas, como: estado das luzes e corrente do ar-condicionado. Além de disponibilizar estas informações para o usuário, a interface também possibilita alterar o *set point* do ar-condicionado e ligar/desligar as luzes da sala remotamente, através de um *Smartphone*.

5 Conclusão

Ao final do projeto, seu custo de produção foi calculado com a somatória do valor de todos componentes e suas respectivas quantias, chegando ao valor final de R\$140,00 por sala de aula. O projeto também possui uma capacidade de escalabilidade, ou seja, a capacidade de englobar as demais salas de aula e novos sensores/atuadores utilizando a infraestrutura de rede já existente. Além disto, o projeto desenvolvido pode ser utilizado como uma plataforma de estudos interdisciplinar, onde os alunos e professores possam testar novas ideias de *software* em um *hardware* já validado.

O protótipo desenvolvido foi instalado em uma sala de aula onde ficou para os testes por uma semana, além de ter passado por testes de reconexão, uma vez que interrupções na rede de dados da instituição ocorrem com certa frequência. Tanto com interrupção no sinal Wi-Fi como com queda de conexão com Internet, o sistema foi capaz de se auto conectar quando a rede é restabelecida. Sendo assim, conclui-se que a plataforma desenvolvida é robusta o suficiente para entrar em estágio de produção.

O trabalho desenvolvido proporcionou observar um uso indevido da energia elétrica em uma sala de aula e, após implementar a automatização da sala, constatou-se a possibilidade de criar um ambiente agradável, energeticamente eficiente e uma ferramenta importante para futuros estudos.

Em trabalhos futuros, com o crescimento de uma base de dados, será possível desenvolver sistemas de classificação para detectar anomalias nos equipamentos, sistemas de regressão para prever o consumo de energia elétrica e realizar análises estatísticas do consumo elétrico.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal da Paraíba - *Campus Cajazeiras* pelo apoio e disponibilização de uma sala de aula para implantação do sistema desenvolvido.

Referências Bibliográficas

- Altium. Circuit Maker. Disponível em: <<https://circuitmaker.com/About>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- Aguilar, J (2016). The smart classrooms at the universities as one of the pillars of the e-society. International Conference on eDemocracy and eGovernment, No. 3; pp. 138–144.
- Eclipse. Mosquitto: An open source MQTT broker. 2018. Disponível em: <<https://mosquitto.org/>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- ESP8266EX. Specifications of ESP8266EX: Datasheet. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- Gupta, A.; Gupta, P. and Chhabra, J (2015). IoT based power efficient system design using automation for classrooms. Third International Conference on Image Information Processing.
- Melo, Emmanuel Cainã Alves de (2016). Salas de aula inteligentes: Utilização de arduino e bluetooth low energy como beacons para o mapeamento de salas de aula. Tese (Doutorado) - Curso de Curso de Sistemas de Informação, Área de Computação, Universidade Federal do Ceará, Quixadá.
- Singh, G.; Chitransh, A. and Tanwar, G (2016). Monitoring ambient light conditions of a school using IoT. International Conference on Computing for Sustainable Global, Vol 3, pp 3446–3449.
- Wollschlaeger, M.; Sauter, T. and Jasperneite, J (2017). The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0, IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol. 11, No. 1, pp. 17–27.
- Zhu, L (2016). Research and design of the future classroom based on big data and cloud processing. International Conference on Audio, Language and Image Processing (ICALIP).