

AUTOMAÇÃO PREDIAL WIRELESS EM AMBIENTE COM CARGAS TÉRMICAS COMPARTILHADAS

PEDRO R. MATEUS FILHO, YURI F. G. DIAS, PAULO A. FERREIRA JÚNIOR, ADOLFO BAUCHSPIESS

Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes – LAVSI
Grupo de Robótica, Automação e Visão computacional – GRAV
Depto. de Engenharia Elétrica - Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro, SG11 Sala A1-48/15, 70910-970, Brasília, Distrito Federal
E-mails: pedroramosmateus@gmail.com, yuriyuri29@gmail.com,
paulo.eletrica@gmail.com, adolfobs@ene.unb.br

Abstract— This paper presents the thermal control of a test environment using *wireless* building automation. In order to carry out this work, sensors and actuators nodes were implemented employing *Xbee* transceivers, based on the *ZigBee* protocol (IEEE 802.14.5). The actuator nodes were implemented with ATmega8 microcontrollers, which run all necessary routines to control the air conditioners compressor by driven solid-state relays. The comparative study between the internal control (from the internal air conditioner thermostat) and external on-off control shows that the external on-off control gives us lower error and lower power consumption.

Keywords— Building Automation, *wireless* network, thermal control, energy consumption

Resumo— Este artigo apresenta o controle térmico em um ambiente de teste utilizando automação predial *wireless*. Foram projetados e implementados nós sensores e atuadores utilizando o transceiver *Xbee*, baseado no protocolo *ZigBee* (IEEE 802.14.5). O processamento nos nós atuadores foi efetuado por microcontroladores ATmega8, responsável por executar as rotinas de controle do acionamento das unidades condensadoras dos aparelhos de ar condicionado através de acionamento de relés de estado sólido. O estudo comparativo entre o controle realizado internamente pelos aparelhos de ar condicionado e um controlador liga-desliga externo mostrou que o controle liga-desliga externo além de apresentar um menor erro, possibilitou um menor consumo de energia.

Palavras-chave— Automação predial, *wireless* network, controle térmico, consumo de energia

1 Introdução

O conceito “*Ambient Intelligence*” é um paradigma relativamente novo que leva a uma densa rede de comunicação de sensores e atuadores, que são integrados por um supervisor e que podem ou não executar tarefas locais, além de fornecer serviços ao usuário de forma praticamente invisível. Das diversas formas de conexão entre estes dispositivos, destaca-se o uso de nós de sensoriamento e atuação *wireless*, que oferecem uma grande flexibilidade no desenvolvimento e em particular no *retrofitting* de prédios antigos, uma vez que não acarreta maiores alterações na infra-estrutura predial, como a instalação de novos cabeamentos.

O protocolo de rede sem fio *ZigBee* foi desenvolvido para aplicações de automação predial, ramo da automação que está ganhando uma importância crescente. De acordo com (Koubâa, *et al.*, 2007), o padrão foi concebido para dispositivos sem fio de baixo custo e tem como características o baixo consumo de energia e as garantias de controle da rede em tempo real.

No presente trabalho, foi implementada toda a infra-estrutura de rede necessária para o controle de temperatura em um ambiente do Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes (LAVSI), incluindo o projeto e configuração dos nós sensores, nós atuadores e *software* supervisor.

Dentre as variadas técnicas de controle, liga-desliga, PID e controladores *Fuzzy* (Santos, 2005; Urzêda, 2006), utilizadas em projetos na área de conforto térmico e racionalização de energia, este artigo apresenta um estudo comparativo entre o controle de temperatura próprio dos aparelhos de ar condicionado e o controle liga-desliga instalado externamente aos aparelhos. O objetivo é mostrar qual dos controladores é mais eficiente no controle da temperatura do ambiente e com o menor consumo de energia.

2 ZigBee

ZigBee é um protocolo de comunicação baseado no padrão IEEE 802.15.4, que tem aplicação em redes sem fio, integrando pequenas unidades de comunicação de dados em áreas muito limitadas. Seu conceito original aplica-se na integração de pequenas unidades telemétricas recorrendo a sinais de rádio não licenciados (Tsang, *et al.*, 2007).

O padrão IEEE 802.15.4 é comparável às tecnologias de rede *Wi-Fi* e *Bluetooth*, sendo que o primeiro funciona com um menor consumo de energia e menor taxa de transmissão, cerca de 250 kbps (Coradas, *et al.*, 2007).

Neste trabalho, foi utilizado o transceiver *Xbee* da empresa *Maxstream* (atualmente *Digi*) que foi projetado para atender ao padrão IEEE 802.15.4, operando na frequência de 2,4 GHz.

Além de um *transceiver ZigBee*, o *Xbee* possui funcionalidades úteis para um elemento de automação, como portas de entrada e saída, canais de conversão analógico-digital e canais de *PWM*.

3 Ambiente Predial Utilizado

Este trabalho propõe um sistema de controle de temperatura para um ambiente com dois setores contíguos (cargas térmicas compartilhadas) utilizando o protocolo de comunicação *ZigBee*, IEEE 802.15.4. Estão disponíveis nesse sistema: dois nós atuadores (módulos de controle, módulos de acionamento e aparelhos de ar condicionado), dois nós sensores e um nó coordenador ligado a um computador, (Fig. 1). Na figura foi colocada uma linha pontilhada entre os setores 1 e 2 para delimitar a área limítrofe de cada um dos setores.

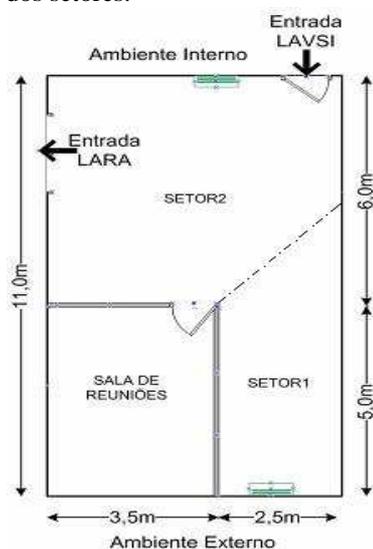


Figura 1. Ambiente predial controlado.

O módulo de controle tem a função de controlar os aparelhos de ar condicionado através do módulo de acionamento e o nó sensor é responsável pela aquisição da variável controlada (temperatura). O *software* de controle coordena, através do nó coordenador, o fluxo de dados entre os módulos que compõem a rede, tais como o recebimento dos dados de temperatura do ambiente, execução dos cálculos do controlador liga-desliga e envio do sinal que determina o estado dos atuadores.

Os dados são armazenados em arquivos texto, para a subsequente reprodução gráfica em *Matlab*[®].

4 Nó Atuador

4.1 Ar condicionado

Foram utilizados dois aparelhos de ar condicionado do tipo *split*, Springer Hi Wall, com capacidade 22.000 BTU/h. Este tipo de aparelho possui duas unidades, uma interna e outra externa. A unidade interna, também chamada de evaporadora, fica loca-

lizada dentro da sala e é responsável por insuflar ar frio na mesma. A unidade externa, também chamada de condensadora, tem função de resfriar o gás que retorna da unidade evaporadora.

Na parte interna da unidade evaporadora está localizado o sensor responsável pela medição da temperatura do ambiente, valor este que é utilizado pelo controlador do aparelho de ar condicionado para controle de temperatura.

O acionamento da unidade condensadora é feito por uma placa eletrônica instalada na unidade evaporadora, que dependendo da temperatura solicitada pelo usuário e da temperatura do ambiente, envia um sinal de comando para ligar ou desligar a unidade externa. Trata-se de um sinal 220 VAC, por onde circula no estado ligado uma corrente de aproximadamente 0,8 A. O controle liga-desliga externo foi realizado na unidade condensadora através do chaveamento deste sinal de comando proveniente da unidade evaporadora.

Para realização do controle liga-desliga externo, os aparelhos de ar condicionado são configurados para operarem em sua potência máxima, ou seja, selecionando-se a temperatura de 17 °C. Desta forma, o sinal proveniente da unidade evaporadora que liga a unidade condensadora sempre estará ativo, permitindo que ação de ligar e desligar tal unidade seja controlada unicamente pelo módulo de controle através do módulo de acionamento.

4.2 Módulo de Controle

O módulo de controle (Fig. 2) tem a função de controlar o módulo de acionamento do ar condicionado. O projeto é composto por um microcontrolador *Atmega8* e um módulo *Xbee*, com interface para gravação e interface serial com possibilidade de seleção por intermédio de *jumpers* entre as opções: *PC/Xbee*, *Xbee/Atmega8* e *PC/Atmega8*.

O *firmware* gravado no microcontrolador recebe do supervisor o estado do atuador, e através de uma porta de I/O comanda o módulo de acionamento para que esta ligue ou desligue a unidade externa do ar condicionado.

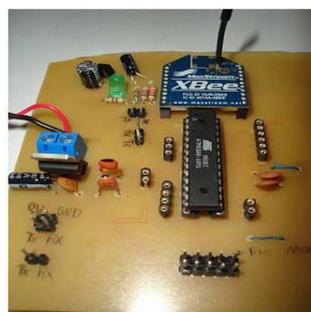


Figura 2. Foto do módulo de controle com *Atmega8*.

4.3 Módulo de Acionamento

Para o acionamento da carga alimentada com tensão 220 VAC, 60 Hz, foi projetado um relé de estado

7 Análise dos Resultados

Ele trabalha alterando o endereço próprio e de destino do coordenador para que este receba/envie os dados para os nós apontados pelo supervisor e permite a configuração da temperatura de referência e do tempo de execução dos experimentos.

Esse *software* grava, em um arquivo texto, os dados da temperatura de referência, temperatura em cada nó sensor, status dos atuadores e o tempo de funcionamento, permitindo a geração de gráficos com os dados coletados.

O *software* de controle é responsável pelo cálculo do controle liga-desliga e apenas envia o estado do atuador até o nó determinado. O controlador foi implementado com uma histerese de 0,5 °C.

O cálculo é realizado separadamente para cada setor do ambiente a ser controlado, porém a temperatura de referência é única para todo o ambiente. Cada ciclo, que engloba a leitura dos dados dos sensores e o envio do estado dos atuadores, dura aproximadamente 6 segundos. A taxa de aquisição dos dados de temperatura de cada área é de aproximadamente 3 segundos.

São consideradas três amostras de temperatura para cada sensor. Essas amostras são tratadas pelo *software* de controle na tentativa de impedir que um valor lido incorretamente possa alterar os cálculos do controlador liga-desliga. São usadas as equações a seguir:

$$se[(t_1 - t_2) > 1 \vee e(t_1 - t_3) > 1 \vee e(t_2 - t_3) > 1] \Rightarrow \text{repete leitura} \quad (1)$$

$$se[(t_1 - t_2) \leq 1 \wedge e(t_1 - t_3) \leq 1 \wedge e(t_2 - t_3) \leq 1] \Rightarrow \text{média} = (t_1 + t_2 + t_3) / 3 \quad (2)$$

$$\text{senão } se(t_1 - t_2 \leq 1) \Rightarrow \text{média} = (t_1 + t_2) / 2 \quad (3)$$

$$se(t_1 - t_3) \leq 1 \Rightarrow \text{média} = (t_1 + t_3) / 2 \quad (4)$$

$$se(t_2 - t_3) \leq 1 \Rightarrow \text{média} = (t_2 + t_3) / 2 \quad (5)$$

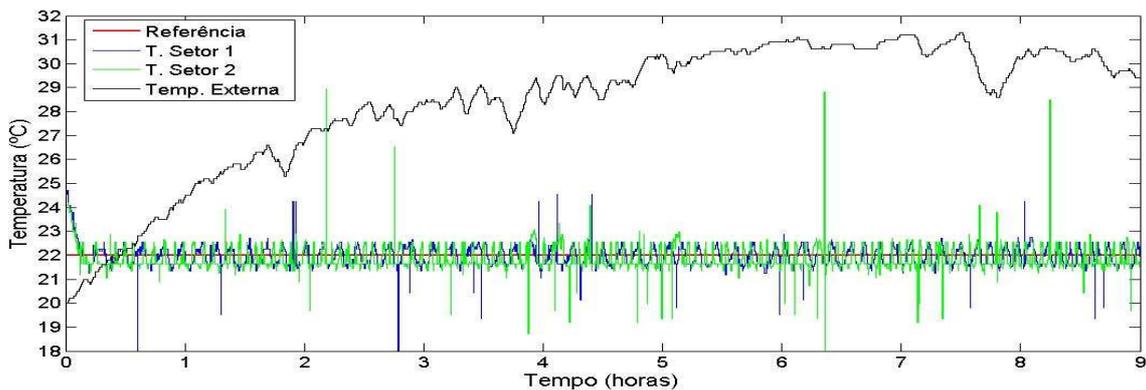


Figura 7. Experimento 1 – Controle liga-desliga.

A Figura 7 mostra a ação característica do controle liga-desliga nos dois setores do ambiente controlado, onde é verificado um erro médio menor que 1 °C. É nítida a ocorrência de medidas espúrias em algumas amostras de temperatura recebidas dos nós sensores, resultando em pontos destoantes na curva. A soma do consumo medido nos dois aparelhos de ar condicionado foi de 20,77 kWh.

A ação de controle própria dos aparelhos de ar condicionado (Fig. 8) mantém a temperatura dos dois

Para analisar o desempenho do controle liga-desliga aplicado externamente e o controle próprio dos aparelhos de ar condicionado foram realizados vários experimentos comparativos no ambiente controlado, dentre os quais dois serão apresentados.

Como o sensor de temperatura dos aparelhos de ar condicionado está localizado internamente medindo a temperatura do ar que retorna do ambiente, e o controle liga-desliga externo utiliza como referência as amostras de temperatura enviadas pelos nós sensores, é necessário considerar o posicionamento dos sensores para comparar as duas estratégias de controle.

Desta forma, para melhor comparação dos resultados obtidos em relação ao controle de temperatura e consumo de energia, os experimentos foram realizados com os nós sensores posicionados em dois locais, em um deles no centro de cada setor do ambiente controlado e no outro na posição da entrada do retorno do ar dos aparelhos de ar condicionado.

Todos os experimentos foram realizados no período de 8hs às 17hs e a temperatura de referência estabelecida foi de 22 °C. Nos experimentos com o controlador liga-desliga, a referência foi informada no *software* supervisor, enquanto que nos experimentos com o controle próprio dos aparelhos, a referência é configurada através do controle remoto dos mesmos.

Durante os experimentos, além da temperatura dos dois setores e a temperatura externa, foi registrado o consumo de energia dos aparelhos de ar condicionado utilizados.

Nos dois primeiros experimentos os nós sensores foram posicionados no centro dos dois setores.

setores do ambiente com um erro superior a 1 °C. O consumo de energia medido foi 31,41 kWh. O fato de a temperatura de retorno do ar medida pelo sensor interno dos aparelhos de ar condicionado ser superior a temperatura medida pelos nós sensores, faz com que a unidade condensadora dos aparelhos fique acionada por mais tempo, o que pode explicar o maior consumo de energia.

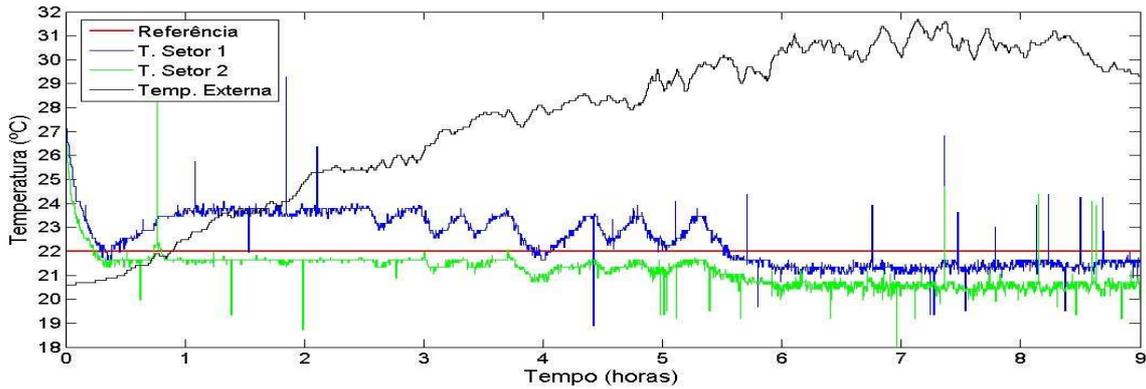


Figura 8. Experimento 2 – Controle próprio dos aparelhos.

Nos dois últimos experimentos os nós sensores foram posicionados na entrada do retorno do ar dos aparelhos de ar condicionado. Com a localização dos nós sensores próximos do sensor interno dos aparelhos, os valores de temperatura medidos por ambos serão bem próximos. O intuito foi tentar colocar os dois controladores em condições de igualdade para efetuar o controle de temperatura do ambiente, podendo assim realizar uma melhor comparação.

O resultado do controle liga-desliga realizado com os nós sensores no novo posicionamento (Fig.

0), evidenciou algumas diferenças no controle de temperatura efetuado no setor 2. Nesta área do ambiente foi verificado um erro médio superior a 3 °C, fato que pode ser explicado pela comunicação deste setor com outro laboratório, o que aumenta a temperatura do ar na posição do retorno dos aparelhos. Esta característica fez com que a unidade condensadora do ar condicionado deste setor fosse mais acionada e conseqüentemente aumentou o consumo de energia, medido em 26,21 kWh.

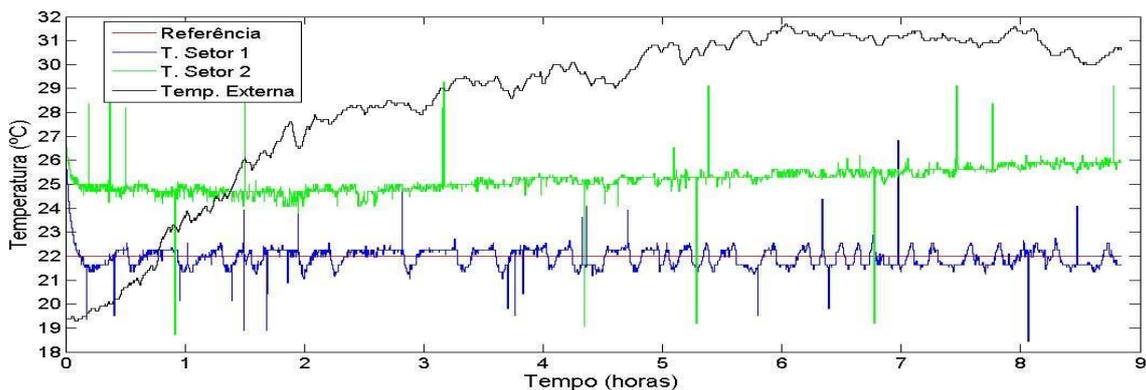


Figura 9. Experimento 3 – Controle liga-desliga.

A mesma característica observada no Experimento 3 foi verificada no resultado do controle próprio dos aparelhos de ar condicionado com o novo posicionamento dos nós sensores. O erro médio no controle de temperatura observado nos dois setores, comparados com o experimento anterior foi bastante

semelhante. O consumo de energia medido foi de 32,58 kWh, bem próximo do valor atingido no Experimento 2.

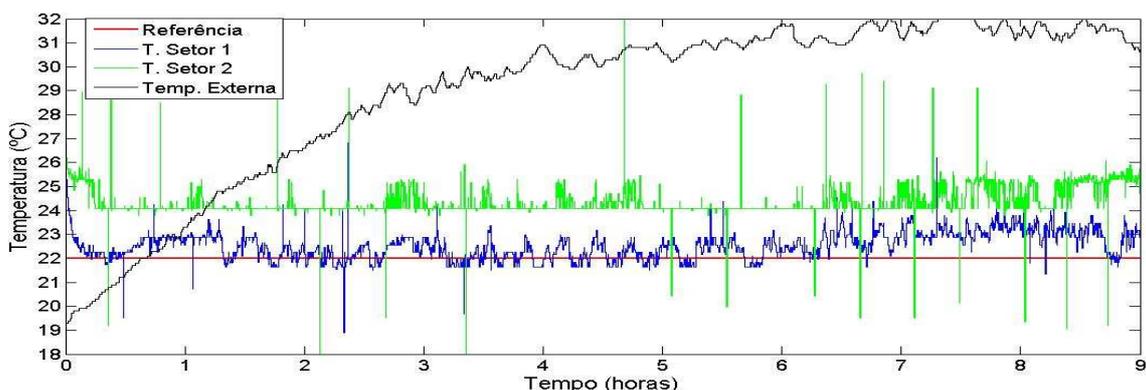


Figura 10. Experimento 4 – Controle próprio dos aparelhos.

Através dos resultados foi verificada a influência que o posicionamento dos nós sensores faz para manutenção do controle da temperatura e consequentemente para o consumo de energia, conforme pode ser observado nos resultados dos dois experimentos com o controle liga-desliga. No entanto, nas duas estratégias de posicionamento dos nós sensores propostas, o controle liga-desliga conseguiu combinar a melhor manutenção da temperatura na referência estabelecida com um menor consumo de energia (Tabela 1).

Tabela 1. Comparativo entre os experimentos.

Experimento	Tipo de controle	Posição dos nós sensores	Consumo
1	Liga-desliga	Centralizado	20,77 kWh
2	Próprio dos aparelhos	Centralizado	31,41 kWh
3	Liga-desliga	Retorno	26,21 kWh
4	Próprio dos aparelhos	Retorno	32,58 kWh

8 Conclusão

As tecnologias de comunicação *wireless* trazem uma grande flexibilidade no que diz respeito à construção de um sistema de automação. Os dispositivos que compõe a rede, nós atuadores e sensores podem ser dispostos independentemente da passagem de cabos de conexão, o que pode significar redução de custos e complexidade de instalação. Uma alteração do uso do espaço é facilmente assimilada.

A rede *ZigBee*, projetada a partir dos módulos *Xbee*, apresentou bons resultados para a aplicação em questão. No entanto, mesmo com o tratamento dado pelo *software* supervisor, esporadicamente amostras de temperatura incorretas eram recebidas. Esta falha pode ser corrigida com a implementação no supervisor de um tratamento mais minucioso das amostras recebidas.

Os experimentos demonstraram que o controle liga-desliga aplicado externamente aos aparelhos de ar condicionado apresentou melhores resultados do que o controle efetuado pelos próprios aparelhos, no que se refere a controle de temperatura e consumo de energia. No entanto, em termos de conforto térmico em todo o ambiente, é necessária a realização de estudos mais aprofundados, por exemplo, utilizando um maior número de nós sensores para a verificação da temperatura em mais pontos do ambiente.

Em trabalhos futuros, é importante que seja realizado um estudo mais sistemático dos fatores que acarretaram um menor consumo de energia com a utilização do controle liga-desliga aplicado externamente nos aparelhos de ar condicionado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq – CT-Energ, à CAPES - PROBRAL e à FINEP – PROMOVE iNOVA pelo apoio recebido.

Referências Bibliográficas

- Cordas, C., Rodrigues, J., Borrego, Vitor. (2007) *Sistema Distribuído de aquisição remota de grandezas atmosféricas*. Trabalho Final de Curso do 1º Ciclo (Escola Superior de Tecnologia) – Instituto Politécnico de Setúbal.
- Kuobâa, A., Cunha, A., Alves M. (2007) *A Time Division Beacon Scheduling Mechanism for IEEE 802.15.4/Zigbee Cluster-Tree Wireless Sensor Networks*, Al-Imam Muhammad Ibn Saud University.
- Monsignore, F. (2007). *Sensoriamento de ambiente utilizando o padrão ZigBee*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Montbeller, S. J. (2006) *Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fio – wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Ruas, A. C. (1999) *Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho*, FUNDACENTRO, São Paulo.
- Santos, R. J. (2005) *Utilização de Controle Fuzzy para a Racionalização de Energia em Processo de Condicionamento de Ar*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília.
- Silva, A. T. (2007) *Módulos de Comunicação Wireless para Sensores*. Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Universidade do Porto.
- Soares, M. J. *Controle de cargas AC com conjunto TRIAC/MOC*. Saber Eletrônica, Tatuapé, jun. 2006. p.10-15.
- Tsang, K. F., Lee, W. C., Lam, K. L., Tung, H. Y., Kai Xuan (2007) *An integrated ZigBee automation system: An energy saving solution*. IEEE 14th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice Volume; pp. 252-258.
- Urzêda, C. C. (2006) *Software SCADA como Plataforma para Racionalização Inteligente de Energia Elétrica em Automação Predial*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília.