

ARQUITETURA PARA O MONITORAMENTO REMOTO DA MOVIMENTAÇÃO DE PESSOAS EM AMBIENTES

Eron Brunelli¹, Carlos Araújo¹, Sérgio Santos¹, Karan Melo¹, Márcio Soussa^{1,2}, Patrícia Braga^{1,2}, Charles Soares^{1,2}, Valter Senna², Valéria da Silva².

¹Centro Universitário Jorge Amado

²Programa de Pós Graduação das Faculdades SENAI CIMATEC

E-mails: eronbrunelli@gmail.com, kakolino@gmail.com,
ssergiomurillorasta@gmail.com, karan_melo@hotmail.com,
marcio.soussa10@gmail.com, patyfb04@gmail.com, cbclsa@gmail.com,
valter.senna@gmail.com, valeria.dasilva@fieb.org.br.

RESUMO

Os avanços da microeletrônica e das redes de sensores sem fio trouxeram uma nova perspectiva quanto à capacidade de monitoramento remoto dos mais variados ambientes e como consequência, têm auxiliado na compreensão de como os indivíduos interagem com esses ambientes. Sabe-se que na atualidade essas tecnologias têm sido bastante utilizadas para o monitoramento remoto de ambientes, que variam de residências até oceanos e florestas. Este trabalho tem como objetivo propor uma arquitetura para monitorar remotamente o fluxo de movimentação de pessoas em um ambiente coberto, com o propósito de compreender, em certa medida, o comportamento geral de pessoas nesse ambiente. Como método, foi implantado um conjunto integrado de equipamentos eletrônicos, contendo sensores e uma rede de comunicação sem fio, em um ambiente piloto e os dados gerados permitiram inferir alguns aspectos da movimentação das pessoas no referido ambiente.

PALAVRAS CHAVE: Sensores; Redes de Sensores sem Fio; Monitoramento Remoto.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços ocorridos nas últimas décadas, principalmente nas áreas de microeletrônica e redes de comunicação sem fio, contribuíram de forma significativa para a melhoria da capacidade de monitoramento dos mais variados ambientes e dos indivíduos que interagem com esses ambientes [1].

A crescente evolução da indústria de hardware, e especialmente, na microeletrônica trouxe resultados muito importantes para o cenário atual, como a miniaturização dos dispositivos eletrônicos, a diminuição dos custos desses equipamentos e a redução no consumo de energia.

As redes de computadores sem fio tornaram-se uma peça fundamental para a área de monitoramento remoto, pois através delas, é possível identificar e endereçar unicamente os mais diversos objetos e comunicá-los com outros objetos de forma remota.

Na atualidade, o monitoramento remoto de ambientes, processos e indivíduos é uma realidade. É possível citar alguns exemplos, como o monitoramento na produção na industrial, o monitoramento de residências, de sinais vitais de pacientes, do trânsito, de animais, florestas e do clima.

Este trabalho tem como principal objetivo propor uma arquitetura de hardware composta por um conjunto de dispositivos, como sensores, plataformas de programação e dispositivos de comunicação sem fio, que permita monitorar remotamente o fluxo de movimentação das pessoas em um ambiente coberto e compreender alguns aspectos dessa movimentação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

Há atualmente uma grande variedade de dispositivos eletrônicos disponíveis no mercado e dentre eles é possível citar algumas categorias, como os sensores, os dispositivos de comunicação sem fio e as plataformas de programação e prototipagem.

2.1.1 SENSORES

Um sensor é geralmente definido como um dispositivo que recebe e responde a um sinal ou estímulo. Fraden [7] faz um refinamento desse conceito e define sensor como um dispositivo que recebe um estímulo e responde com um sinal elétrico. O autor define estímulo como uma quantidade, propriedade ou condição que é percebida e convertida em um sinal elétrico.

O autor afirma ainda que os sensores podem ser classificados de várias formas, dependendo do propósito. Eles podem, por exemplo, ser classificados de acordo com o seu material, como inorgânicos ou orgânicos e suas subcategorias. Podem também ser classificados de acordo com a forma de detecção, podendo ser biológica, química, elétrica, magnética, dentre outras e classificados ainda de acordo com o estímulo, que pode ser acústico, ótico, elétrico, mecânico, dentre outros.

Segundo McRoberts [6], os sensores não trabalham de forma isolada, pois são dispositivos, que em conjunto com outros dispositivos, como memória, processador, atuador e outros, sempre compõem um sistema maior. A seguir são apresentados dois tipos de sensores de ambiente, largamente utilizados em projetos de monitoramento:

Ultrassônico

Esse tipo de sensor baseia-se na transmissão e reflexão de ondas acústicas, isto é, ele emite ondas acústicas em direção a um objeto e ao alcançá-lo, as ondas são refletidas e capturadas de volta pelo sensor, permitindo assim calcular a distância entre o sensor e o objeto alvo. De acordo com Fraden [7], as ondas emitidas pelos sensores ultrassônicos trabalham em frequências muito acima da capacidade auditiva humana, mas ligeiramente perceptíveis por pequenos animais, como cães e gatos.

O cálculo da distância entre o sensor e o objeto, L_o , pode ser feito através da seguinte fórmula:

$$L_o = \frac{vt \cos \theta}{2}$$

Sendo, v a velocidade das ondas ultrassônicas no meio; t , o tempo que as ondas levam para ir até o objeto e voltar e θ , o ângulo formado entre o objeto e o módulo receptor. Caso o módulo transmissor e o receptor estejam próximos, considera-se $\cos \theta \approx 1$.

Passive Infrared - PIR

O *Passive infrared* ou também conhecido como *Pyroelectric infrared* é um tipo de sensor infravermelho que se tornou muito popular em sistemas de alarme, gerenciamento de abertura e fechamento de portas e acendimento de luz, devido a sua simplicidade e baixo custo.

Esse tipo de sensor tem como base de funcionamento a detecção da diferença de temperatura entre a superfície do objeto em movimento e do ambiente monitorado. Todo objeto com temperatura acima do zero absoluto emite uma radiação térmica, que não é visível ao olho humano, mas é perceptível pelas células piroelétricas. Como as pessoas possuem uma temperatura corporal externa em torno dos 34° C, ela é maior que a temperatura dos ambientes, de uma forma geral. Portanto, quando uma pessoa se move e passa pelo raio de cobertura do sensor, as células piroelétricas detectam a diferença de temperatura entre a pessoa (temperatura maior) e o ambiente (temperatura menor) e então o sensor emite um sinal [7].

2.1.2 PLATAFORMAS DE PROGRAMAÇÃO E PROTOTIPAGEM

Com a evolução e a miniaturização dos controladores, surgiram novas perspectivas para o seu uso. Porém a programação feita diretamente nos controladores não é considerada uma tarefa trivial para pessoas que não tem conhecimentos mais aprofundados de eletrônica.

Contudo, nos últimos anos surgiram algumas plataformas de prototipagem e programação *open source*, que permitem que pessoas que não são especialistas em eletrônica, possam também programar os microcontroladores de uma forma mais fácil e intuitiva.

McRoberts [6] afirma que essas plataformas de computação embarcada facilitam a programação e o gerenciamento do envio e recebimento de dados de dispositivos eletrônicos externos. Três dessas plataformas se destacam na atualidade, pela quantidade de projetos que as utilizam e são: Arduino, Raspberry pi e Zigbee.

O Arduino foi escolhido para ser utilizado nesse projeto por conta da diversidade de componentes compatíveis e principalmente, pela familiaridade dos autores com a plataforma. Essa escolha permitiu uma rápida configuração e implementação da arquitetura.

2.1.3 REDES DE SENSORES SEM FIO

De acordo com Karl [4], as Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) podem ser definidas como uma coleção de dispositivos com capacidade computacional, de sensoriamento e comunicação. Ruiz et al. [5] afirmam que diferentemente das redes de computadores tradicionais, as RSSFs normalmente possuem um grande número de dispositivos distribuídos em um ambiente, possuem restrições de energia e devem possuir mecanismos para autoconfiguração, devido a problemas como falhas de comunicação e perda de nós.

Um nó em uma RSSF pode ser definido como um elemento computacional com capacidade de processamento, memória, interface de comunicação sem fio, além de um ou mais sensores acoplados. Ele costuma possuir pequenas dimensões, o que acarreta certas limitações, tais como a capacidade da fonte de energia, o processador e o transceptor [5].

2.2. SENSORIAMENTO DO AMBIENTE

A fase de sensoriamento representa uma parte importante dos sistemas de monitoramento remoto, porque ela é responsável pela aquisição dos dados, isto é, é nessa fase onde os sensores coletam os dados do ambiente e da interação entre os usuários e o ambiente e repassam para o sistema.

Ye, Dobson e Mckeever [3] ressaltam a grande variedade de diferentes tipos de informação que os sensores podem capturar. Segue abaixo uma categorização com alguns exemplos de tipos de dados:

- Dados do ambiente, como umidade, temperatura, consumo de água, energia e gás.
- Dados do próprio dispositivo, como o *status*, tamanho da memória, função que está exercendo no momento, dentre outros.
- Dados do usuário, variando desde a localização e movimentação até dados biomédicos, como batimentos cardíacos, pressão sanguínea e outros.

Ye, Dobson e Mckeever [3] abordam alguns desafios e problemas comumente encontrados em projetos dessa natureza. Eles afirmam, por exemplo, que a grande variedade e quantidade de sensores geralmente utilizados nesses projetos trazem alguns desafios, como a complexidade no gerenciamento do grande volume de dados gerados e também a complexidade na interpretação contextualizada dos sinais enviados por esses sensores.

Outro problema abordado pelos autores está associado aos ruídos gerados pelos sensores, que podem levar a uma interpretação errada do comportamento do indivíduo ou do ambiente monitorado. Os sensores também podem apresentar problemas técnicos ou até mesmo perder a conexão com a rede de computador, o que também pode acarretar em uma interpretação errada do comportamento do objeto monitorado.

Há ainda questões relacionadas com possíveis interferências do ambiente na captação dos sinais e a vida útil das fontes de energia, que alimentam os dispositivos eletrônicos.

3. METODOLOGIA

3.1 O AMBIENTE DO PROJETO

O cenário escolhido para ser utilizado como piloto no projeto refere-se a um ambiente fechado e coberto de uma instituição de ensino superior, possuindo uma área de aproximadamente 80 m² e dividida em oito salas (setores), de acordo com a seguinte especificação:

- Setor 01 - Recepção
- Setor 02 - Coordenação de Extensão e Iniciação Científica
- Setor 03 - Coordenação de Curso A
- Setor 04 - Coordenação de Curso B
- Setor 05 e 06 – Outros (Não monitorados no projeto)
- Setor 07 - Banheiro Feminino
- Setor 08 - Banheiro Masculino.

Na Figura 01 é possível visualizar cada setor (sala) do ambiente e vale ressaltar que apesar dos setores 05 e 06 aparecerem na figura, eles não foram monitorados no projeto.

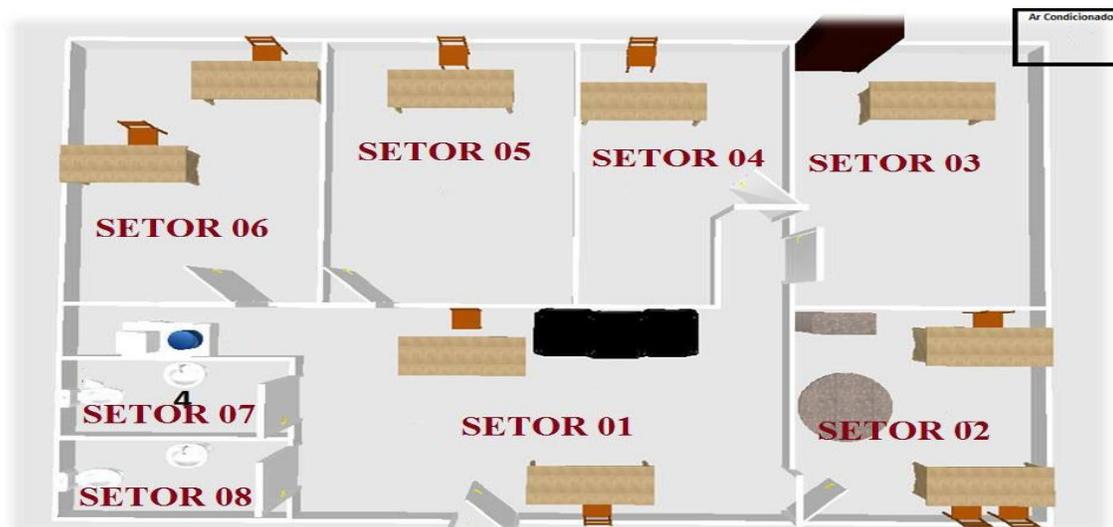


Figura 01: Ambiente piloto do projeto. Fonte: Autores

3.2 ARQUITETURA UTILIZADA

Como almeja-se entender o fluxo de movimentação das pessoas no ambiente, decidiu-se pelo uso de sensores de presença *PIR*, para capturar os momentos de movimentação das pessoas por entre as salas do ambiente. Esse tipo de sensor foi escolhido por apresentar características importantes, como baixo custo, fácil utilização e principalmente, pelo fato de possuir um alcance e uma angulação compatíveis com o ambiente monitorado.

Para contribuir ainda mais com a compreensão dessa movimentação, decidiu-se também quantificar o número de pessoas que entram e saem do ambiente. Para tanto, optou-se pelo uso de sensores ultrassônicos na porta de entrada do ambiente ao invés dos sensores *PIR*. Os sensores ultrassônicos são mais direcionais que os sensores *PIR* e medem a distância até o objeto e, portanto, são mais adequados à medição do número de pessoas que entram e saem do ambiente. Além disso, também apresentam baixo custo e são de fácil utilização.

Dente as plataformas de programação, decidiu-se pelo uso de placas Arduino UNO para gerenciar a captura dos sinais gerados pelos sensores e também para gerenciar o armazenamento dos sinais em um computador central. Essa escolha se deu por conta do baixo custo, da facilidade de uso, da vasta literatura sobre o tema e também por conta da facilidade de conexão com outros dispositivos eletrônicos, como *shields* de conexão remota, conexão ethernet, etc.

Por conta das distâncias entre as salas internas do ambiente monitorado, e buscando preservar a estética do ambiente, decidiu-se pelo uso de comunicação *wifi* entre os sensores e o computador central, responsável pelo armazenamento dos sinais.

Em resumo, a arquitetura utilizada no projeto consistiu dos dispositivos eletrônicos citados a seguir e cujas especificações podem ser vistas no Quadro 01.

- 06 sensores *PIR – Passive InfraRed*,
- 02 sensores ultrassônicos,
- 03 placas Arduino UNO,
- 03 módulos *Wifi*.

Quadro 01 – Especificação dos dispositivos eletrônicos utilizados no projeto. Fonte: Autores

Tipo do Dispositivo	Especificação
Sensor de Presença	Módulo sensor <i>PIR – Passive InfraRed</i> . Alcance de 7 m e ângulo de detecção de 120°. Saída digital. Dimensões: 32 mm x 24 mm x 25 mm. Peso: aproximadamente 6 gramas.
Sensor Ultrassônico	Módulo HC – SR04. Alcance varia de 2 cm à 4 m e a angulação varia de 15° a 30° . Saída digital. Dimensões: 45mm x 20mm x 15mm.
Placa Arduino	Placa Arduino UNO R3 com microcontrolador ATmega328
Módulo de comunicação <i>wifi</i>	Módulo <i>wireless</i> Nrf24l01+ 2,4 Ghz Transceiver Rf Arduino

3.3 DISTRIBUIÇÃO DOS DISPOSITIVOS NO AMBIENTE

Em cada sala do ambiente foi instalado um sensor *PIR*, posicionado e configurado de tal forma que pudesse alcançar a maior parte da área de movimentação das pessoas. A configuração consistiu na calibração da angulação e sensibilidade do sensor. Cada sensor *PIR* foi conectado a uma placa Arduino, de forma compartilhada, conforme pode ser visto nas Figuras 02 e 03.

Na Figura 02 é possível observar que os sensores de presença do banheiro masculino e feminino estão conectados a uma mesma placa Arduino e esta conectada a um módulo *Wifi*. Essa placa Arduino gerencia a captura dos sinais somente desses dois sensores supracitados. Todos os outros sensores de presença estão conectados a outra placa Arduino, localizada no Setor 2 (Núcleo de Extensão e Iniciação Científica) e esta a um outro módulo *Wifi*.

No Setor 03 (Núcleo de Coordenação de Curso A) está instalada outra placa Arduino, conectada a um módulo *Wifi* com a função de receptor dos sinais. A placa está conectada também a um computador central, onde ficam armazenados os sinais capturados pelos sensores.

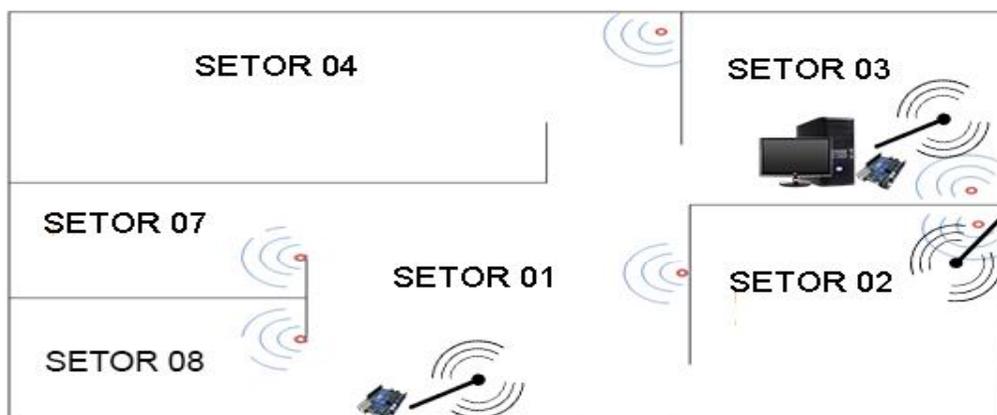


Figura 02: Distribuição dos sensores de presença ao longo do ambiente. Fonte: Autores

Na porta de entrada do ambiente foram instalados dois sensores ultrassônicos, um do lado externo e o outro do lado interno. Eles foram instalados na parte superior da porta, com uma distância de 220 cm do piso e com uma ligeira angulação em relação à parede. Ambos foram conectados a uma mesma placa Arduino. Na Figura 03 é possível visualizar um desenho esquemático com os dispositivos citados.

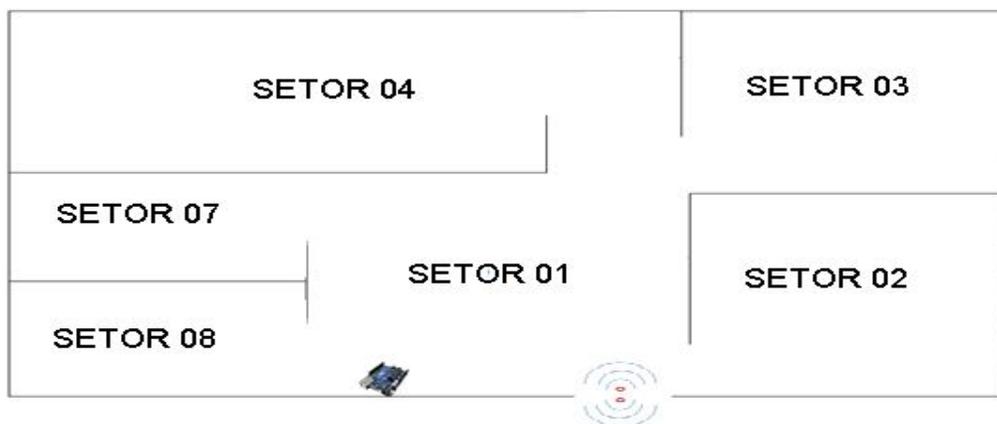


Figura 03: Distribuição dos sensores ultrassônicos na porta do ambiente. Fonte: Autores

3.4 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Quando uma pessoa se movimenta dentro do ambiente monitorado e passa pelo raio de alcance de um algum sensor *PIR*, este detecta a movimentação e repassa para a placa Arduino à qual está conectada. A placa por sua vez envia o sinal através do módulo *wifi*, ao qual está conectada. O sinal transmitido é composto por uma *string* contendo somente três campos: a identificação única do sensor, o valor capturado pelo sensor e o dia/horário do acionamento do sensor. Porém, vale ressaltar que o campo valor capturado possui sempre a informação 0 (zero), pois este tipo de sensor não captura nenhuma informação do ambiente.

Quando uma pessoa passa pela porta de entrada do ambiente, os sensores ultrassônicos identificam a presença da pessoa, através do cálculo da distância entre a pessoa e o sensor e então os dados são gravados em uma *string* contendo somente três campos: a identificação única do sensor, o valor capturado pelo sensor e o dia/horário do acionamento do sensor. O campo valor neste caso apresenta a medida da distância calculada pelo sensor.

A capacidade de estimação da quantidade de pessoas que entra e sai do ambiente dá-se através da sequência de acionamento dos sensores ultrassônicos, isto é, caso a sequência cronológica dos acionamentos, dentro de um intervalo N de tempo, seja primeiro o sensor do lado externo e depois o lado interno, pressupõe-se que uma pessoa entrou no ambiente e quando ocorre o contrário, pressupõe-se que uma pessoa saiu.

O módulo *wifi*, com função de receptor, localizado na sala de coordenação de Curso A, conforme pode ser visto na Figura 02, captura os dados enviados pelos outros módulos *wifi*. e repassa para um computador central, que os armazena em disco, em um formato *csv*.

3.5 RESULTADOS

Com o propósito de validar a capacidade da arquitetura em coletar e armazenar os dados e permitir posteriormente uma compreensão do fluxo de movimentação das pessoas no ambiente

descrito, foram coletados dados de 12 dias de ativação dos sensores *PIR* e através do uso de um método de estimação de função densidade sobre os dados capturados de cada sensor, torna-se possível compreender quais os momentos de maior e menor movimentação de pessoas em cada sala do ambiente.

As Figuras 04 e 05 apresentam os padrões de acionamento dos sensores de presença instalados nos setores 4 e 7, respectivamente. Nelas é possível perceber os momentos do dia onde costuma haver uma maior movimentação de pessoas nesses ambientes.

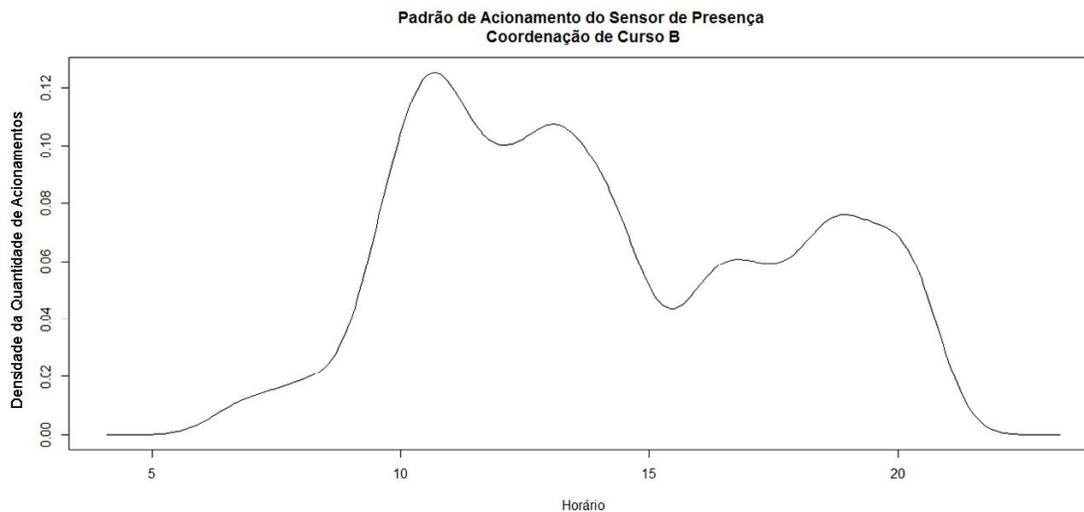


Figura 04: Padrão de acionamento do sensor de presença no setor 4, através de estimativa kernel em [8]. Fonte: Autores

Na Figura 04 percebe-se nitidamente uma constante ativação do sensor ao longo de todo o dia, começando no início da manhã e intensificando-se no final da manhã e início da tarde. No meio da tarde há uma pequena redução no acionamento do sensor e voltando a intensificar-se durante a noite. O que talvez justifique o constante acionamento ao longo de todo o dia é o fato desse setor representar uma coordenação de curso que oferece turmas nos turnos matutino e noturno.

A Figura 05 apresenta o padrão de acionamento no banheiro feminino e é possível perceber claramente um pico no final da manhã e início da tarde, justamente próximo ao horário de almoço. Contudo, há ativação do sensor ao longo de todo o dia, inclusive com fortes ativações à noite. Isto talvez se justifique pelo fato de haver uma presença constante de funcionários do sexo feminino ao longo de todo o dia, nas coordenações que compõem esse ambiente.

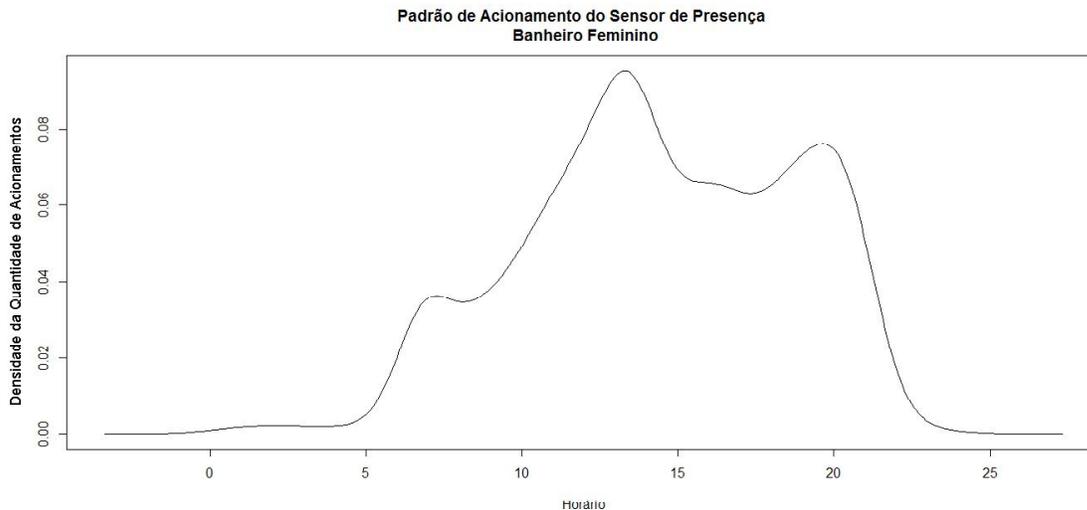


Figura 05: Padrão de acionamento do sensor de presença no setor 7, através de estimativa kernel em [8]. Fonte: Autores

4. CONCLUSÃO

A arquitetura proposta nesse trabalho teve como objetivo oferecer uma solução de monitoramento remoto de movimentação de pessoas em ambientes cobertos, utilizando sensores de baixo custo e fácil utilização, como os sensores *PIR* e os ultrassônicos, integrados em uma rede de sensores sem fio.

Com base em alguns resultados apresentados, foi possível perceber a capacidade da arquitetura em identificar os horários do dia onde há uma maior e menor incidência de ativação de cada sensor instalado no ambiente. Essas informações ajudam na compreensão do padrão de movimentação das pessoas no ambiente e consequentemente, na suposição de possíveis comportamentos e interações entre as pessoas e o ambiente.

Vale ressaltar algumas dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do projeto, como ruídos capturados pelos sensores *PIR* em momentos onde não havia ninguém no ambiente, como nos horários da madrugada e os constantes ruídos percebidos pelos sensores ultrassônicos, o que dificultou bastante a interpretação dos dados.

Outro aspecto importante a ser abordado é que apesar do Arduino apresentar relativamente um alto consumo de energia, isto não se configurou um problema para o sistema, já que dispúnhamos de pontos de alimentação suficientes. Contudo, uma rede de sensores sem fio alimentada por baterias será investigada em um trabalho futuro.

Espera-se que essa arquitetura sirva de ferramenta para a geração de dados que possam ser interpretados, através de algoritmos de reconhecimento de padrões e que os resultados encontrados, possam subsidiar a direção da Instituição, na compreensão do fluxo de movimentação das pessoas que transitam no ambiente e que por fim possam tomar decisões, principalmente quanto à otimização na alocação de recursos no ambiente.

REFERÊNCIAS

- ¹ Bohn, J., Coroamã, V.; Langheinrich, M., E Mattern, F., Rohs, M., Living in a World of Smart Everyday Objects - Social, Economic, an Ethical Implications, *Journal of Human and Ecological Risk Assessment* **2004**, Volume 10, Páginas 763-78.
- ² Hong, S., Kim, N. E Kim, W.; Reduction of False Alarm Signals for PIR Sensor in Realistic Outdoor Surveillance, *ETRI Journal* **2013**, Volume 35.
- ³ Ye, J., Dobson, S., Mckeever, S.; Situation identification techniques in pervasive computing: A review, *Pervasive and Mobile Computing* **2011**, Elsevier B.V.
- ⁴ Karl, H., Willig, A., Wolisz, A.; Eye source routing protocol for wireless sensor networks, *Proceedings of the Work-in-Progress Session of the 1st European Workshop on Wireless Sensor Networks* **2004**, Berlim.
- ⁵ Ruiz, L., Correia, L., Vieira, L., Macedo, D., Nakamura, E., Figueiredo, C., Vieira, M., Bechelane, E., Camara, D., Loureiro, A., Nogueira, J., Silva Jr., D.; Arquiteturas para Redes de Sensores sem Fio. Disponível em: [http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes%20de%20Sensores%20sem%20Fio/Arquiteturas%20para%20Redes%20de%20Sensores%20Sem%20Fio%20\(Linnyer%20UFMG\).pdf](http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes%20de%20Sensores%20sem%20Fio/Arquiteturas%20para%20Redes%20de%20Sensores%20Sem%20Fio%20(Linnyer%20UFMG).pdf)
Acesso em: 31/08/2014
- ⁶ **Livros:** McRoberts, M.; *Beginning Arduino*, Apress, New York, 2010.
- ⁷ **Livros:** Fraden, J.; *Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs, and Applications*. Springer. New York, 2010.
- ⁸ **R Core Team. R:** Sítio de Language and Environment for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 28/08/2014.