

## III Prêmio LF de Computação

**Título do Projeto:** MosqloT: Avaliação de Soluções IoT para Monitoramento de População de Mosquitos visando Prevenção de Doenças e Benefícios para a Saúde Pública

*(MosqloT: Performance Evaluation of IoT Solutions for Mosquito Population Monitoring aiming to Prevent Diseases and Public Health Benefits)*

**Candidato:** Diego Augusto Amorim Santos  
**Professor Orientador:** Prof. Dr. Joel José Puga Coelho Rodrigues  
**Instituição:** Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel  
**Duração do Projeto:** Março de 2017 a Fevereiro de 2019

**Resumo:** O avanço das doenças transmitidas por mosquitos é uma preocupação no Brasil e no mundo. Anualmente, milhares de pessoas perdem a vida devido a doenças transmitidas por Mosquitos. No Brasil, o Ministério da Saúde indica que em 2016 mais de 475.000 (quatrocentos e setenta e cinco mil) pessoas tenham sido infectadas pela Dengue, principal doença no país cuja transmissão se faz através de um mosquito como vetor. As Tecnologias da Informação e Comunicação podem desempenhar um papel extremamente importante na prevenção dessas doenças através do monitoramento, registro e análise de dados e a mitigação de populações de mosquitos utilizando redes de sensores e atuadores adequados. Neste contexto, a utilização de soluções emergentes baseadas em Internet das Coisas (IoT) surge como uma abordagem inovadora e adequada para construir modelos que podem ajudar controlar as populações de mosquitos e fornecer informações extremamente úteis para as autoridades sanitárias tomarem medidas de prevenção em saúde pública.

Neste projeto propõe-se a avaliação do desempenho de soluções pautadas na Internet das Coisas (IoT) que sejam capazes de detectar populações de mosquitos, identificar espécies e gêneros, monitorar o seu progresso ao longo do tempo para armazenagem e tratamento automático de dados. Serão também analisadas tecnologias que sejam capazes de eliminar os mosquitos sem recorrer a métodos que possam agredir o meio ambiente ou causar mutações nos mosquitos que a longo prazo possam aumentar sua resistência biológica. Adicionalmente, serão utilizadas estações de monitoramento ambiental e climáticas (que disponibilizarão dados em tempo real), de modo que a análise de dados possa determinar possíveis tendências de comportamento nos mosquitos e prevalência ao longo do tempo (ex.: por ano, estação do ano ou variação do clima), permitindo criar um sistema de alertas e modelos preditivos para prevenção em saúde.

Um sistema de monitoramento e controle da população de mosquitos poderá ser instalado ao longo de um território, contribuindo para o controle de doenças como a Dengue, Febre Amarela, Chikungunya e Zika. A proposta será avaliada, demonstrada e validada através de um protótipo laboratorial (numa primeira fase) e de um piloto real na cidade de Santa Rita do Sapucaí, MG.

## Detalhamento da Proposta

**Descrição do Projeto:** A concretização deste projeto se dará através da construção de um protótipo e piloto em ambiente real que inclui o armazenamento de dados ambientais e da população de mosquitos ao longo do tempo que permitirá a sua análise inteligente e a criação de modelos preditivos para a prevenção das doenças associadas. Para que este objetivo seja alcançado, os seguintes objetivos parciais foram definidos:

- Revisão do estado da arte sobre as abordagens de detecção de mosquitos, suas principais técnicas e tecnologias.
- Validação e avaliação de desempenho das abordagens mais promissoras.
- Proposta, desenho e construção de novo hardware para monitoramento de mosquitos.
- Validação da solução construída em ambiente de laboratório e avaliação do desempenho do dispositivo no campo.
- Projeto e construção de uma rede IoT que integra os vários sensores construídos.
- Análise de desempenho e dados coletados durante a avaliação e validação final da solução completa

**Justificativa:** O combate à dengue e a todas as outras doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti* é um grande desafio no contexto da saúde pública. A implantação adequada de equipes móveis de saúde em uma determinada área de cobertura é um importante fator de sucesso no controle da criação de mosquitos. Considerando que as redes automatizadas de sensores de mosquitos podem ser combinadas com medidas tradicionais de prevenção, torna-se possível realizar um monitoramento profundo da prevalência da população de mosquitos em uma determinada área e conseqüentemente de suas doenças associadas. Este cenário pode alavancar melhorias consideráveis na qualidade de vida e saúde pública em toda a região de Santa Rita do Sapucaí, bem como em todo o Brasil.

**Metodologia:** O estudo será iniciado com a revisão detalhada do estado da arte sobre monitoramento da população de mosquitos, monitoramento ambiental, atuadores para mitigar mosquitos e soluções IoT existentes para esse efeito. Aspectos relevantes como o estudo dos habitats e ciclo de vida dos mosquitos também serão considerados. A seguir, estratégia experimental segue uma abordagem baseada na construção de um protótipo e subsequente piloto real para a avaliação do desempenho, demonstração e validação da solução. O projeto prevê a construção de uma rede IoT para a identificação, contagem e monitoramento da população de mosquitos. Serão avaliadas as soluções existentes (por exemplo, utilizando sensores acústicos, ópticos ou, mesmo, a combinação dos dois), bem como o levantamento de possíveis oportunidades para o desenvolvimento de novas soluções. Além das soluções de sensoriamento, será efetuado um estudo de avaliação do desempenho de atuadores como solução no controle e mitigação de populações de mosquitos. A utilização de uma solução de monitoramento ambiental e a análise de dados, ao longo do tempo, considerando a monitorização da população de mosquitos permitirá avaliar a influência climática e a proposta de modelos preditivos para a prevenção de doenças.

**Comunidade atingida e envolvidos:** O projeto vem sendo desenvolvido nas instalações do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações), em Santa Rita do Sapucaí. Para a construção do piloto real, propõe-se a instalação de duas unidades de monitoramento e atuação. Uma, terá lugar no campus do Inatel que é um ambiente propício para o estudo e monitoramento de mosquitos devido à grande quantidade de espaços verdes e a diversidade demográfica em sua extensão, possibilitando a captação de dados em um ambiente de significativa densidade populacional. Outros pontos serão identificados na cidade de Santa Rita do Sapucaí - MG em consenso com a Secretaria Municipal de Saúde e Vigilância Sanitária (a cidade possui um rio e bosques). Em relação a fatores climáticos, a cidade tem altos índices pluviiais e possui grande amplitude térmica, sendo que o efeito das quatro estações é bastante perceptível ao longo do ano.

## Resultados

A revisão detalhada da literatura em relação aos métodos de sensoriamento de insetos voadores está em processo avançado e já apresenta alguns resultados. As principais abordagens nesse aspecto são o sensoriamento acústico e o sensoriamento óptico. Os estudos realizados mostram que o sensoriamento óptico apresenta vantagens consideráveis em relação ao método acústico, tais como a maior imunidade à ruídos externos e o baixo consumo energético, um fator extremamente importante para o dimensionamento de hardware considerando um cenário IoT.

Um modelo de testes foi desenvolvido para a validação do princípio de operação dos sensores optoeletrônicos. Além disso, as principais fontes de interferência óptica e as larguras de banda de frequência alternativas para modulação de sinal óptico de interesse foram apresentadas. Assim, será possível superar a dificuldade técnica de encontrar no mercado filtros cerâmicos de frequência específica. Como atividade futura, pretende-se projetar circuitos capacitivos capazes de substituir o filtro cerâmico com a mesma eficiência em altas frequências alternativas, sem comprometer o consumo energético do sistema. Além disso, pretende-se realizar experimentos reais utilizando os módulos optoeletrônicos de sensoriamento para obter amostras suficientes para validar a precisão do sensor e atualizar a literatura sobre frequências fundamentais e harmônicas para identificação dos mosquitos em um contexto climático como o brasileiro.

Outro experimento já realizado dentro do projeto foi a criação de uma armadilha seletiva de

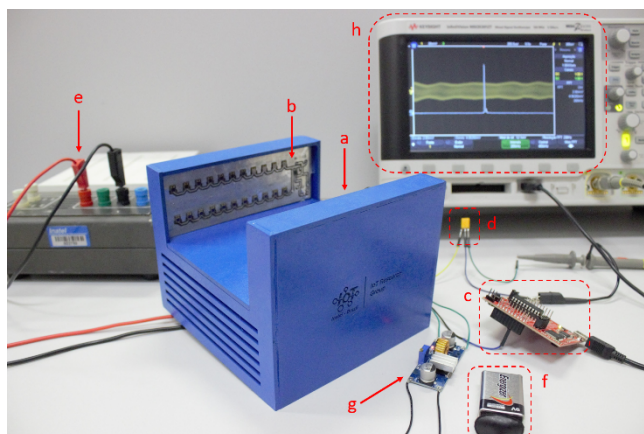


Figura 1: Estrutura montada para validação e análise das principais fontes ópticas de interferência. Destaques a) matriz infravermelha, b) fotodiodos, c) MSP430 usado para clock de 455kHz, d) filtro passa-faixa de cerâmica de 455kHz, e) fonte, f) bateria, g) circuito regulador 3.3V, e h) osciloscópio



Figura 2: Protótipo da armadilha seletiva para mosquitos baseada em sucção e exaustão

espécies de insetos voadores que não são vetores de doenças não sejam capturadas pela armadilha.

O objetivo final do projeto é a integração das estruturas em uma rede IoT, observando o consumo energético, eficiência e permitindo a análise de desempenho e gerando resultados a longo prazo. O projeto vem sendo financiado com o apoio do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel no *IoT Research Group* (Centro de pesquisa em IoT do Inatel, coordenado pelo Prof. Joel Rodrigues, orientador do projeto).

## Relevância do Projeto para a Sociedade

Durante as últimas décadas, as preocupações endêmicas associadas à mosquitos vetores de doenças no Brasil se concentraram no avanço dos casos de Dengue. Hoje, observa-se um processo de diversificação das doenças transmitidas por mosquitos em nosso território e sobretudo em Minas Gerais o grave surto da Febre Amarela em 2017. Dado esse cenário, o desenvolvimento do projeto, seu engajamento e caráter vanguardista terão grande valia tecnológica e impacto direto em questões emergentes no Estado de Minas Gerais e no Brasil. O projeto está pautado no próspero paradigma IoT, o que amplia as oportunidades de contribuição científica do projeto. Ademais, o objetivo do estudo no monitoramento e controle de populações de mosquitos é um tema pouco explorado em termos de tecnologias.

Os métodos atuais empregados no monitoramento de mosquitos como vetores de doenças se dão basicamente através de um processo de contagem larval dos focos encontrados. Considerando o objetivo de monitoramento de mosquitos adultos, além das contribuições para o avanço do estado da arte em termos de tecnologias IoT, o projeto trará também contribuições determinantes acerca do comportamento da população de mosquitos e sua relação com o ambiente e condições climáticas. Além disso, pretende-se fornecer uma ferramenta extremamente acessível às autoridades para poderem tomar medidas preventivas e de grande impacto em relação à saúde pública no Brasil.

O tema reveste-se de enorme importância face aos estudos avaliação do desempenho de diferentes sistemas para monitoramento de mosquitos e a construção de uma solução integrada, seguindo uma abordagem baseada em IoT. Deste modo, prevê-se que este projeto multidisciplinar possa apresentar avanços determinantes e significativos num problema bem conhecido (transmissão de doenças através de mosquitos) e para o qual urge construir soluções eficazes, simples de operar e de manter, e de continuidade. Além disso, o projeto produzirá resultados com impacto direto na saúde pública considerando doenças extremamente graves e com elevada taxa de prevalência perante as quais tem que se atuar continuamente. A solução proposta poderá ser uma base importantíssima para campanhas de prevenção e sensibilização, possibilitando aos órgãos competentes uma atuação efetiva com impacto imediato no controle de doenças transmitidas por picada de mosquitos.

## Aspectos de Inovação da Proposta

O estabelecimento de métricas para o mapeamento geográfico da prevalência de mosquitos é um dos principais desafios para o controle de doenças transmitidas por mosquitos. Os métodos tradicionais utilizam o índice de Breteau, que estabelece a relação entre o número de contêineres de larvas de mosquitos positivos encontrados por locais inspecionados. Além de ineficiente, esse método depende inteiramente da ação das equipes de saúde que atravessam o território em busca de possíveis focos de larvas de mosquitos.

Técnicas disponíveis na literatura para detecção automática de possíveis surtos de larvas de mosquitos ainda são muito incipientes e ineficazes. Novos estudos mostram avanços relevantes na análise de imagens térmicas e RGB (Red Green Blue) para possível detecção de surtos de doenças transmitidas por mosquitos. Entretanto, a análise do espectro de frequências dos padrões de batidas de asa de insetos para a detecção de mosquitos adultos ainda é a ferramenta mais eficiente, barata e difundida para a implementação de novas abordagens eletrônicas para controle de doenças e preservação da saúde pública.

Os fundamentos de muitas soluções disponíveis para detecção de insetos voadores com base na análise do espectro de frequências vêm de estudos no campo da Biologia. As doenças associadas ao mosquito *Aedes aegypti* são consideradas um problema de saúde pública no Brasil e no mundo. Atualmente, não existem soluções práticas na luta contra o mosquito, principalmente no cenário tecnológico. Muitos estudos são apresentados em várias abordagens, tais como armadilhas eletrônicas por sucção, laser, bem como abordagens acústicas e ópticas para detecção de mosquitos. No entanto, percebe-se que a maioria dessas soluções está restrita ao ambiente de laboratório. Além disso, muitos estudos de campo ainda precisam ser realizados para validar essas novas soluções e sua integração com novas tecnologias emergentes.

O desenvolvimento da IoT se encaixa nesse cenário. Através da IoT, pode ser possível integrar soluções de monitoramento de mosquitos à Internet. Os dados coletados podem ser contextualizados para otimização no controle de doenças como Dengue. Além disso, regiões remotas podem ser monitoradas sem a necessidade de uma presença constante de recursos humanos. Os benefícios gerados podem ter um impacto significativo não apenas tecnológico, mas também social e econômico. A concretização deste projeto através da implementação do piloto na cidade de Santa Rita do Sapucaí será um avanço do ponto de vista científico, mas também um grande contributo para a melhoria na qualidade de vida e saúde pública da região onde o piloto estiver instalado. Uma vez validado, espera-se que a solução possa ser replicada em todo o país, retroalimentando o sistema com as informações coletadas e diversificando a possibilidade de dados de contextualização sobre a prevalência de mosquitos no território nacional.

## Conclusão

O desenvolvimento de sensores acústicos para detecção de insetos voadores foi fundamental para o estabelecimento de métricas de monitoramento de mosquitos. Estes estudos permitiram a determinação de frequências específicas de batimento de asas para cada espécie e classificação de gênero. A literatura é abundante em estudos acústicos, eletrônicos e biológicos que apoiam a implantação de sensores para monitoramento de doenças transmitidas por mosquitos específicos. Existem várias razões para os sensores de mosquitos terem mudado de uma abordagem acústica para uma optoeletrônica. Ao contrário dos microfones, que precisam registrar todo o período do experimento para extrair os eventos de detecção do mosquito, os sensores optoeletrônicos só geram dados de detecção quando ocorre um evento de detecção real. Essa vantagem é importante para economizar dados em termos de processamento, armazenamento e transmissão. Além disso, os sensores optoeletrônicos fornecem uma relação sinal-ruído mais alta do que os microfones, que registram todas as fontes de ruído ao redor.

Este projeto, que contempla a integração de um sensor optoeletrônico a um atuador que evita impactos naturais em um cenário IoT, mostra-se promissor não somente do ponto de vista científico e tecnológico, mas também do ponto de vista socioeconômico. Após a conclusão do projeto e a validação do piloto, espera-se que seja possível dar continuidade à esta iniciativa através da implantação da solução em todo o território nacional. Além disso, pretende-se que a solução possa ser utilizada em campanhas de prevenção e controle de doenças transmitidas por mosquitos e que a sua disponibilização aos órgãos competentes possa trazer benefícios sociais, redução de custos e melhorias de acurácia na detecção de focos de mosquitos vetores de doenças.

Temos todo o interesse em continuar o projeto e conseguir uma solução que venha a ser utilizada como um produto que venha a ser colocado ao serviço das comunidades para ajudar a identificar e mitigar o mosquito *Aedes aegypti*, que tantos danos tem causado, e continua, a causar à população das regiões onde se encontra. Trata-se de um problema de saúde pública que pretendemos contribuir para sua resolução. Nesse sentido, essa premiação vem confirmar a inovação tecnológica apresentada bem como reforçar a sua importância para a MELHORIA DA SOCIEDADE com o uso de TICs.

## DIEGO AUGUSTO AMORIM SANTOS

### FORMAÇÃO ACADÊMICA:

- **PÓS GRADUAÇÃO STRICTO-SENSU**  
*Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações*  
*Jan. 2017 - Fev. 2019 (Previsão)*  
Mestrado em Telecomunicações

#### Área de Pesquisa:

Internet das Coisas; Tecnologias para a Saúde

#### Publicação:

Diego A. A. Santos, L. E. Teixeira, A. M. Alberti, V. Furtado, and Joel J. P. C. Rodrigues, "Sensitivity and noise evaluation of an optoelectronic sensor for mosquitoes monitoring," *3rd International Smart and Sustainable Technologies Conference on Computer and Energy Science (SpliTech 2018)*, June 2018

- **Reconhecimento:** *Best Paper Award* da SpliTech 2018

- **PÓS GRADUAÇÃO LATO-SENSU**  
*Ibmec*  
*Out. 2016 - Jul. 2019 (Previsão)*  
Executive MBA em Gestão de Projetos
- **GRADUAÇÃO**  
*Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações*  
*Jan. 2005 - Dez. 2009*  
Engenharia Elétrica (Telecomunicações)

### FORMAÇÃO COMPLEMENTAR

*Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações:*

- Workshop em Scrum: Desenvolvimento em Metodologias Ágeis (2017)
- Preparatório HCNA - LTE (2017)
- Redes de Comunicações Móveis de 5ª Geração (2016)
- Fundamentos em Gerenciamento de Projetos (2016)
- Gestão Empreendedora e Inovação (2016)
- Matemática Financeira (2016)
- *Site Survey* para sistemas celulares (2007)
- Preparatório CCNA/Cisco (2006)