

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Arnaldo de Matos Gomes

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA OPEN SOURCE DE MEDIÇÃO  
DE FORÇA DA MORDIDA DE PEQUENOS ANIMAIS: estudo de caso de lagartos  
*tropidurus torquatus***

Belo Horizonte  
2015

Arnaldo de Matos Gomes

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA OPEN SOURCE DE MEDIÇÃO DE FORÇA DA MORDIDA DE PEQUENOS ANIMAIS: estudo de caso de lagartos *tropidurus torquatus***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto Paiva da Silva Martins

Coorientador: Prof. Dr. Conrado Aleksander Barbosa Galdino

Belo Horizonte  
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

G633p Gomes, Arnaldo de Matos  
Projeto e implementação de um sistema Open Source de medição de força da mordida de pequenos animais: estudo de caso de lagartos *tropidurus torquatus* / Arnaldo de Matos Gomes. Belo Horizonte, 2015.  
93 f. : il.

Orientador: Carlos Augusto Paiva da Silva Martins  
Coorientador: Conrado Aleksander Barbosa Galdino  
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

1. Mordeduras e picadas - Medição. 2. Lagarto. 3. Detectores. 4. Microcontroladores. 5. Sistemas de memória de computadores. 6. Tecnologia bluetooth. 7. Android (Recurso eletrônico). I. Martins, Carlos Augusto Paiva da Silva. II. Galdino, Conrado Aleksander Barbosa. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 681.31

Arnaldo de Matos Gomes

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA OPEN SOURCE DE MEDIÇÃO  
DE FORÇA DA MORDIDA DE PEQUENOS ANIMAIS: estudo de caso de lagartos  
*tropidurus torquatus***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

---

Prof. Dr. Carlos Augusto Paiva da Silva Martins (Orientador) – PUC Minas

---

Prof. Dr. Conrado Aleksander Barbosa Galdino (Coorientador) – PUC Minas

---

Prof. Dr. Júlio César David de Melo – UFMG

---

Prof. Dra. Zélia Myriam Assis Peixoto – PUC Minas

Belo Horizonte, 26 de junho de 2015

Aos meus pais J3sus e Nat3lia,  
exemplos de vida, f3 e dignidade,  
aos meus irm3os Alexis,  
Anderson, Marcus e Mayt3 e a  
minha companheira Cl3udia. Meu  
sincero agradecimento pelo  
carinho e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por conceder na minha existência mais uma oportunidade de aprendizado.

À minha mãe Natália e ao meu pai Jésus, pela dedicação de uma vida oferecendo os recursos necessários para a realização da minha caminhada.

Aos meus irmãos Anderson, Marcus e Maytê pelo o apoio e exemplo dedicados ao estudo. Em especial ao meu irmão Dr. Alexis, que mesmo distante está feliz pela minha conquista.

À Cláudia, companheira de todas as horas, pelo incentivo para que eu chegasse ao final deste trabalho.

Ao amigo e meu orientador Dr. Carlos Augusto, por mostrar e despertar em mim o interesse por pesquisa científica.

Ao amigo e meu coorientador Dr. Conrado Galdino, zoólogo e entusiasta por engenharia por apresentar o desafio que resultou no objeto de pesquisa deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por prover os recursos financeiros necessários para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

“Conhecer é patrocinar a libertação de nós mesmos, colocando-nos a caminho de novos horizontes na vida. Corremos, pois, o dever de estudar sempre, escolhendo o melhor para que as nossas ideias e exemplos reflitam as ideias e os exemplos dos paladinos da luz.”  
(EMMANUEL, 1958, p.07)

“Ter respostas simples para coisas complicadas é a grande virtude do homem inteligente na Terra, porque somente vibrando no espírito da simplicidade é que somos capazes de tornar o saber uma alavanca propulsora, nos rumos da felicidade e da libertação entre os homens.”  
(ERMANCE 2002, p.151)

## RESUMO

Um registro do ano de 1895 descreve as primeiras tentativas de medir ou estimar forças utilizadas durante o processo da mastigação em humanos, utilizando um instrumento mecânico chamado *phagodynamometer*. Atualmente, no caso dos humanos, instrumentos de mercado com o objetivo de determinar a força da mordida já são encontrados. Porém, outras áreas das ciências da vida também estão interessadas na temática de estimar a força de uma mordida. Na zoologia, lagartos machos disputam com outros machos pelo domínio das fêmeas, utilizando a mordida como mecanismo para vencer a disputa. Pesquisadores dessa área do conhecimento utilizam instrumentos de mercado adaptados com o objetivo de medir a força da mordida do lagarto. Esses instrumentos têm um alto custo financeiro e, na maioria dos casos, são destinados a pesquisas em laboratório. O objetivo principal deste trabalho é apresentar um sistema *open source* de *hardware* e *firmware* que seja de baixo custo e que possa ser utilizado em campo com o objetivo de medir a força da mordida de um lagarto, armazenando os dados da aquisição em uma memória de massa do tipo *Secure Digital Card (SD Card)* e disponibilizando, simultaneamente, os dados para um aplicativo *Android* via rede *Bluetooth*. A arquitetura aqui apresentada também pode ser utilizada em determinar a força da mordida em outras espécies, obviamente desde que essa seja adaptada para a necessidade em questão. Os resultados apresentados utilizam o sensor de força *FlexiForce (A201-25)* fabricado pela empresa *Teckscan*, que pode medir até 111N de força aplicada. Os dados da leitura do sensor de força são tratados por um microcontrolador do fabricante *Microchip* que, disponibiliza os dados para o cartão *SD Card* e para o *hardware* HC05, responsável por formatar o protocolo de comunicação *Bluetooth*. O melhor desempenho de exatidão e precisão das medidas estão concentradas nas leituras acima de 5N. O conteúdo apresentado neste trabalho é destinado aos profissionais das ciências da vida, engenheiros e técnicos.

**Palavras-Chave:** Força da mordida; Lagarto; *FlexiForce*; Microcontrolador; *hardware*; *firmware*; *Bluetooth*; *SD Card*; *Android*.

## ABSTRACT

A record of the year 1895 describes the first attempts to measure or estimate forces used during the chewing process in humans, using a mechanical instrument called phagodynamometer. Currently, in the case of humans, market instruments in order to determine the bite force are already found. However, other areas of life sciences are also interested in the subject of estimating the strength of a bite. In zoology lizards males compete with other males for dominance of females using the bite as a mechanism to win the dispute. Researchers in this area of knowledge use market instruments adapted in order to measure the lizard bite force. These instruments have high financial cost, and that in most cases are intended for laboratory research. The main objective of this paper is to present an open source hardware and firmware system that is low cost and can be used in the field in order to measure the bite force of a lizard, storing the data acquisition in a mass memory of Type Secure Digital Card (SD Card) and simultaneously providing the data to an Android application via Bluetooth network. The architecture presented here can also be used to determine the bite force in other species, obviously provided that it is adapted to the need in question. The results presented use the force sensor FlexiForce (A201-25) manufactured by Teckscan, which can measure up to 111N of force applied. Data from the force sensor readings are handled by a microcontroller produced by Microchip that provides the data to the SD Card card and the HC05 hardware, responsible for handling the Bluetooth communication protocol. The best performance of accuracy and precision of the measurement are concentrated in the readings above 5N. The content presented in this dissertation is intended for professionals in the life sciences, engineers and technicians.

**Keywords:** Bite Force; Lizard; FlexiForce; Microcontroller; hardware; firmware; Bluetooth; SD Car; Android.