



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

RAFFAELLO SALVETTI SANTOS

**CONTROLE DO MOVIMENTO DE CÂMERA COM BASE  
EM SENSORES DE POSIÇÃO DE UM SMARTFONE**

SALVADOR/BA  
2019

RAFFAELLO SALVETTI SANTOS

**CONTROLE DO MOVIMENTO DE CÂMERA COM BASE  
EM SENSORES DE POSIÇÃO DE UM SMARTFONE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como parte dos requisitos para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Computação, pela Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof. Paulo César Machado de Abreu  
Farias  
Universidade Federal da Bahia

SALVADOR/BA  
2019

RAFFAELLO SALVETTI SANTOS

**CONTROLE DO MOVIMENTO DE CÂMERA COM BASE  
EM SENSORES DE POSIÇÃO DE UM SMARTFONE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como parte dos requisitos para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Computação, pela Universidade Federal da Bahia.

DATA DE APROVAÇÃO:

CONCEITO:

---

Prof. Paulo César Machado de Abreu Farias  
Orientador - UFBA

---

Prof. 1  
Membro - UFBA

---

Prof. 2  
Membro - UFBA

SALVADOR/BA  
2019

Dedico a...

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a...

*"Se o conhecimento traz problemas, não é a  
ignorância que os resolve."(Isaac Asimov)*

## RESUMO

Sistemas robóticos fazem parte da história humana. Seja na vida prática, nos dias atuais, ou na peça teatral de ficção científica *Rossumovi Univerzální Roboti*, criada em 1920, onde o termo "ROBÔ" foi utilizado pela primeira vez, antes mesmo do primeiro computador eletrônico ser construído. Atualmente, a robótica é usada nos mais variados setores. Nos domicílios é usado como auxiliar de limpeza doméstica (na forma de aspiradores de pó), em alguns países são utilizados como seguranças patrimoniais, na medicina auxiliam em cirurgias e no espaço exploram mundos desconhecidos. Usando elementos de robótica, este trabalho pretende usar dados de sensores de posição de um smartphone, para criar um sistema de controle de movimento para câmera que pode ser embarcada num robô, fornecendo para o operador uma interface mais intuitiva. São apresentados as características do projeto, montagem do protótipo, programação dos softwares de controle de câmera e envio de dados dos sensores.

**Palavras-chave:** Robótica, Movimento, Controle, Automação, Câmera.

## ABSTRACT

Write your abstract here!!!

**Keywords:** Keywords 1. Keywords 2. Keywords 3. Keywords 4.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Robôs de inspeção . . . . .	12
Figura 2.1 – Raspberry Pi (Modelo B). . . . .	14
Figura 2.2 – Servo Micro TG9. . . . .	15
Figura 2.3 – Sistema de controle de um servo motor. . . . .	15
Figura 2.4 – Modulação por largura de pulso e tensão média resultante . . . . .	16
Figura 2.5 – Tensão média produzida por um sinal PWM . . . . .	17
Figura 3.1 – Diagrama de blocos da comunicação entre os módulos . . . . .	18
Figura 4.1 – Modos de vibração do sistema com eixo e braço maciços. . . . .	20
Figura 4.2 – Coeficiente de torque para uma pá. . . . .	21

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Frequências naturais obtidas [Hz]. . . . .	19
Tabela 4.2 – Cronograma. . . . .	20

## LISTA DE SIGLAS

BET	Teoria do Elemento de Pá ( <i>Blade Element Theory</i> )
THEV	Turbina Hidrocinética de Eixo Vertical
THEH	Turbina Hidrocinética de Eixo Horizontal ...

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Gamma$	Letra grega Gama
$\lambda$	Comprimento de onda
$\in$	Pertence ...

# 1 INTRODUÇÃO

Dutos de ventilação usados nos sistemas de ar-condicionado estão sujeitos a diversos tipos de danos, dentre os quais pode-se listar os entupimentos progressivos devido ao acúmulo de poeira e de pequenos animais mortos. Carmo e Prado (1999) Por normalmente ser locais de difícil acesso, apresentam dificuldades em sua manutenção, favorecendo a proliferação de bactérias e transmissão de vírus Bortoletto et al. (2002).

Subestações de energia elétrica, em grande parte das vezes, ficam expostas a intempéries, que causam oxidações em suportes, equipamentos e cabos. Sua inspeção oferece riscos a vida por expor o corpo humano a uma quantidade enorme de energia, apesar de existir norma rigorosa para a realização de inspeções preventivas, acidentes com vítima ainda acontecem Santos et al. (2012).

A inspeção de reservatórios de produtos químicos requer uma minuciosa análise estrutural, uma busca por áreas oxidadas e falhas em pontos de solda, que demanda muitas horas de trabalho humano. A exposição a gases e vapores tóxicos, por menor que seja a quantidade, causam riscos a saúde do inspetor Molina et al. (2008).

Os casos citados, são apenas algumas das atividades extremamente necessárias no ambiente industrial, que expõem a saúde das pessoas a riscos e que podem ser evitados através de dispositivos especializados.

Robôs equipados com ferramentas adequadas para cada tarefa, que podem oferecer um sistema de navegação autônomo ou de controle remoto, podem ser usados para evitar ou minimizar os riscos a saúde dos inspetores. Como exemplo, o robô *SENSABOT*, usado pela Shell, para monitorar e inspecionar a planta de óleo e gás, mostrado na Figura 1.1a, e o robô *ABB*, usado em inspeções de transformadores, sem a necessidade de drenar o óleo, visto na Figura 1.1b. Contudo o uso de robôs não se restringe apenas ao ambiente industrial, no ano de 2011, robôs submarinos foram usados na localização e resgate das peças do avião da Air France 447, que caiu no Oceano Atlântico em 2009. Foram usados robôs de inspeção para verificar as condições estruturais da usina nuclear de Fukushima Daiichi no Japão, que foi afetada por um tsunami.



(a) SENSABOT



(b) ABB

Fonte: tractica.com (2016).

Fonte: processonline.com.au (2019).

Figura 1.1 – Robôs de inspeção

Independente de um robô ser controlado diretamente por uma pessoa, ou operar em modo completamente autônomo, em algum momento, a observação, supervisão e o julgamento humano ainda é um elemento crítico da atividade robótica.

A maior ligação perceptual entre um ambiente remoto e o operador de um robô, acontece através do vídeo enviado por uma (ou mais) câmera montada no robô. Existe uma relação forte entre problemas de localização da câmera e sua montagem, bem como angulo de visão e outros fatores que podem degradar essa ligação e deixar o operador vulnerável a uma serie de erros como: desorientação, falha ao reconhecer danos ou simplesmente não notar um ponto importante durante uma inspeção.

Estudos sugerem que disponibilizar uma câmera controlada independentemente da orientação de um robô, pode facilitar tarefas de localização num ambiente. Hughes e Lewis (2004)

A dificuldade de operação de um robô é proporcional ao seu grau de liberdade (DOF em inglês), isto é, quanto maior a variedade de movimentos o robô pode executar (considerando seu deslocamento, movimento de braços mecânicos e câmera), mais difícil é o controle para o operador. Pensando nisso, o desenvolvimento de controles mais intuitivos para a câmera do robô diminui a complexidade geral do controle de movimentos totais do robô.

Com o objetivo de aprofundar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, este trabalho visa criar um controle de câmera do tipo (Pan e Tilt), baseando-se nos dados de movimento coletados e enviados de um smartfone, através de rede sem fio, acoplado a cabeça do operador, dessa forma, os movimentos da cabeça do operador são traduzidos em movimentos da câmera montada no robô. O projeto foi elaborado usando um Raspberry Pi, como unidade de controle dos servo motores da câmera, e um celular smartfone Android, responsável por coletar e enviar informações referentes a posição espacial do aparelho. O desenvolvimento do projeto proporcionou um melhor entendimento em aspetos relacionados a rede de computadores, sistemas operacionais, interfaces de hardware, modulação por largura de pulso, eletrônica e desenvolvimento de sistemas para plataformas móveis.

Competências ligadas a construção de software puderam ser evoluídas, já que o módulo de controle, embarcado no Raspberry Pi, foi construído em linguagem C e o módulo de coleta de dados foi desenvolvido em Java, usando a API do sistema operacional Android.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo descreve as tecnologias e conceitos centrais utilizados durante a concepção do projeto. As definições apresentadas são embasadas no material bibliográfico revisado, que serviu de apoio no desenvolvimento de um trabalho fundamentado nas teorias existentes.

### 2.1 Raspberry Pi

O Raspberry Pi é uma família de computadores em placa única (SOC em inglês), com o tamanho de um cartão de crédito. Inicialmente seu objetivo era promover o ensino de computação (programação) básica em escolas, principalmente públicas, de todo o mundo. Entretanto, por possuir poder computacional razoável, uma boa quantidade de memória ram (a partir do modelo B) e um preço relativamente baixo, passou a ser usado para outros objetivos como: console de videogame clássico (emulação de jogos), gerencia de mídia (vídeos, fotos e músicas), estudos em eletrônica, domótica (automação residencial), internet das coisas e robótica. Jucá e Pereira (2018)

Uma versão do sistema operacional Debian Linux, chamada Raspbian, foi criada para o Raspberry Pi, portando também uma serie de aplicativos e ferramentas de desenvolvimentos já existentes para computadores da plataforma PC. Dessa modo, o desenvolvimento de programas se torna uma tarefa extremamente simples, já que o hardware é abstraído pelo sistema operacional, e não é necessário conhecimento específico do hardware do Raspberry Pi (plataforma ARM). As linguagens mais utilizadas para desenvolvimento de software com bibliotecas disponíveis para interação com o hardware são o C/C++ e Python, porém, é possível desenvolver em outras linguagens de programação como o PHP e Java. Jucá e Pereira (2018)

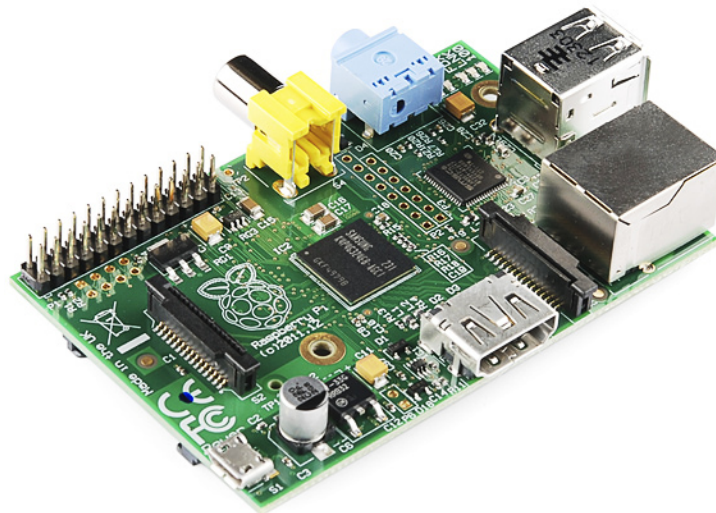


Figura 2.1 – Raspberry Pi (Modelo B).

Fonte: Sparkfun (2011)

## 2.2 Servo Motor

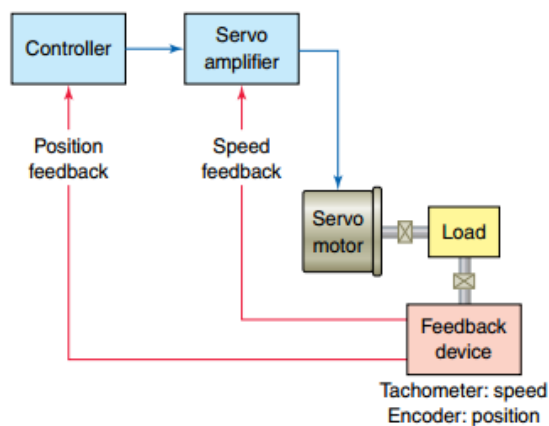
Um servo motor, visto na Figura 2.2, é um atuador rotatório, ou atuador linear, que permite um controle preciso da posição linear ou angular, velocidade e aceleração de uma carga ligada ao seu eixo. Consiste basicamente em um motor de corrente contínua (para o caso particular desse trabalho), acoplado a um sensor (potenciômetro), como ilustrado na Figura 2.3b, para ler sua posição durante o movimento. Normalmente, os motores servos necessitam de um sinal de controle modulado por largura de pulso (PWM em ingles) para operar. Petruzella (2009)



Figura 2.2 – Servo Micro TG9.

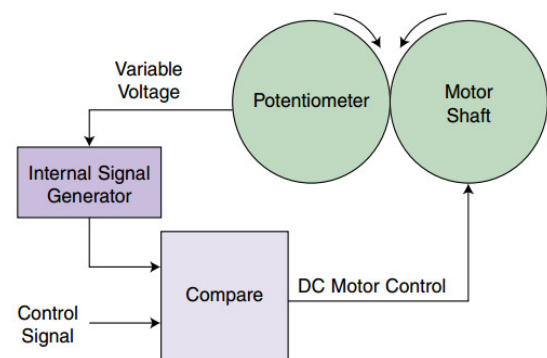
Fonte: hobbyking.com (2019)

O servo motor opera em malha fechada, isto é, seu controlador compara a velocidade de movimento e sua posição para gerar o próximo comando de movimento, minimizando o erro. Petruzella (2009) O esquema de funcionamento do servo motor é mostrado na figura Figura 2.3a.



(a) Sistema em malha fechada.

Fonte: Petruzella (2009)



(b) Componentes internos.

Fonte: Pinckney (2006).

Figura 2.3 – Sistema de controle de um servo motor.



### 2.3 Modulação por Largura de Pulso

A modulação por largura de pulso é uma técnica empregada em diversas áreas da eletrônica, sendo utilizada para controlar fontes chaveadas, velocidade de motores, luminosidade, servo motores e diversas outras aplicações. Consiste em variar a o tempo em que um pulso de tensão oscila entre os níveis alto e baixo numa taxa rápida o suficiente para que a média dos pulsos crie um valor médio de tensão efetivo, ilustrado na Figura 2.4. Ao valor definido pela divisão entre: a largura de pulso com a tensão em nível alto, e o período do sinal; é dado o nome ciclo de trabalho ou *duty cycle*. Variar o *duty cycle* significa variar a tensão média, isto é, a potência é proporcional a tensão média resultante. Pinckney (2006).

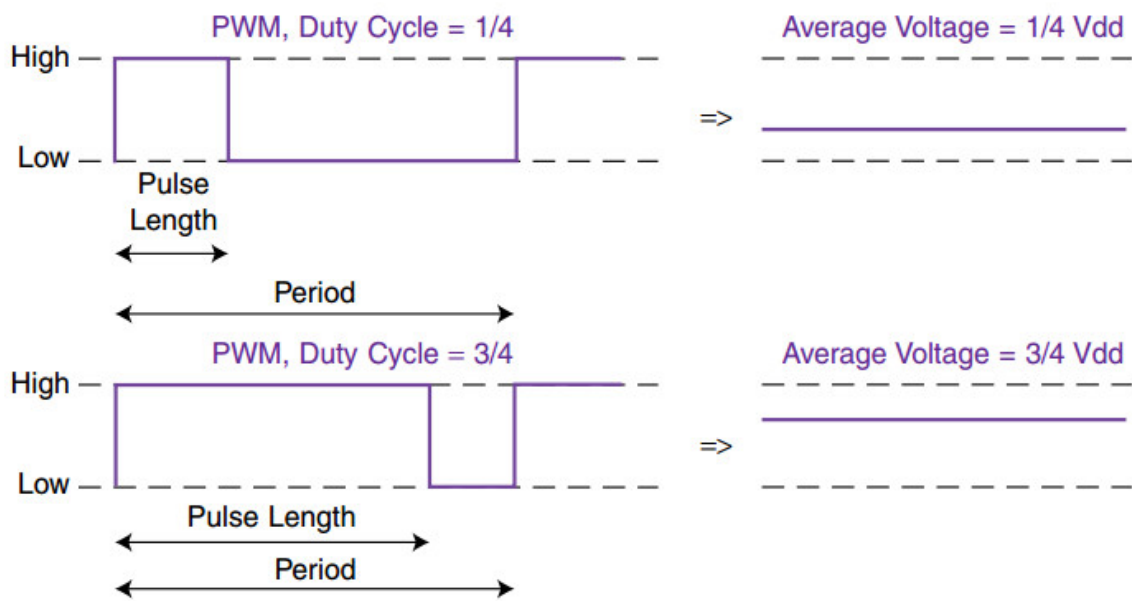


Figura 2.4 – Modulação por largura de pulso e tensão média resultante

Fonte: Pinckney (2006)

A largura de pulso pode ser calculada usando a equação Equação (2.1).

$$DutyCycle = 100 \times \frac{Largura do Pulso}{Período} \quad (2.1)$$

Onde: Duty Cycle é um valor dado em por cento, Largura do pulso e Período são valores dados em segundos.

Uma vez calculado o ciclo de trabalho, é possível calcular o valor da tensão média gerada pelo sinal através da Equação (2.2).

$$TensãoMédia = Tensão do Pulso \times DutyCycle \quad (2.2)$$

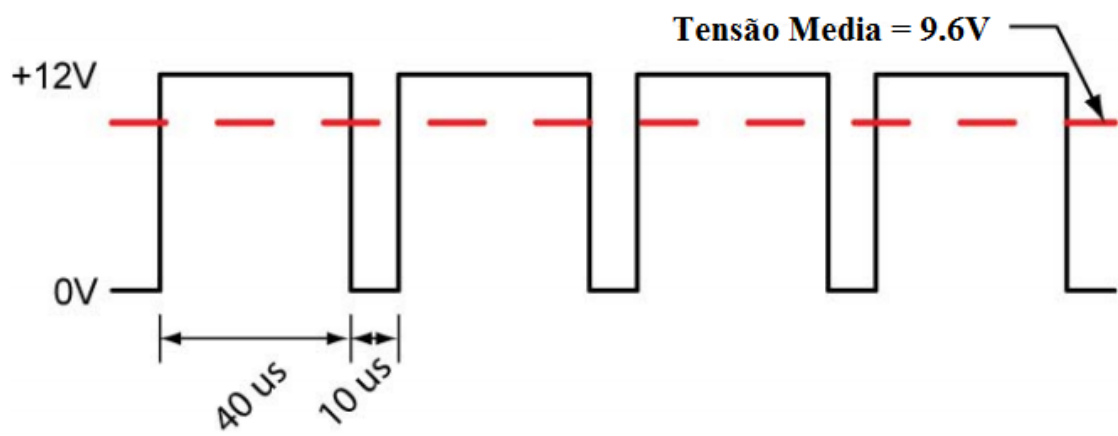


Figura 2.5 – Tensão média produzida por um sinal PWM

Fonte: Mecaweb (2019)

### 3 Construção do Protótipo

Este capítulo descreve a montagem do protótipo para testes. Será feita uma introdução do funcionamento geral, e suas principais características. Posteriormente será mostrado o funcionamento da base de testes da câmera, conexões entre os servo motores e os pinos GPIO, instalação e configuração do sistema operacional para o Raspberry Pi, e desenvolvimento do programa e controle dos servo motores, desenvolvimento do aplicativo Android, responsável por capturar dados dos sensores de posição e envio pela rede sem fio.

#### 3.1 Especificação do Projeto

Apesar de ser composta por diversos módulos, o projeto pode ser dividido conceitualmente em duas partes, denominados por módulo de coleta de dados, ou celular Android, e módulo de controle de câmera, ou Raspberry Pi. O módulo de controle de câmera é responsável por receber os dados de posição através de uma conexão socket, converter o sistema de coordenadas, aplicar um filtro para evitar o acionamento desnecessário dos motores e acionar os servos. O módulo de coleta de dados é responsável por configurar os sensores de localização disponíveis no smartfone, aplicar os filtros necessários para minimizar ruídos na coleta de dados e enviá-los através de uma conexão socket para o módulo de controle de câmeras. O funcionamento integrado dos módulos é ilustrado na Figura 3.1

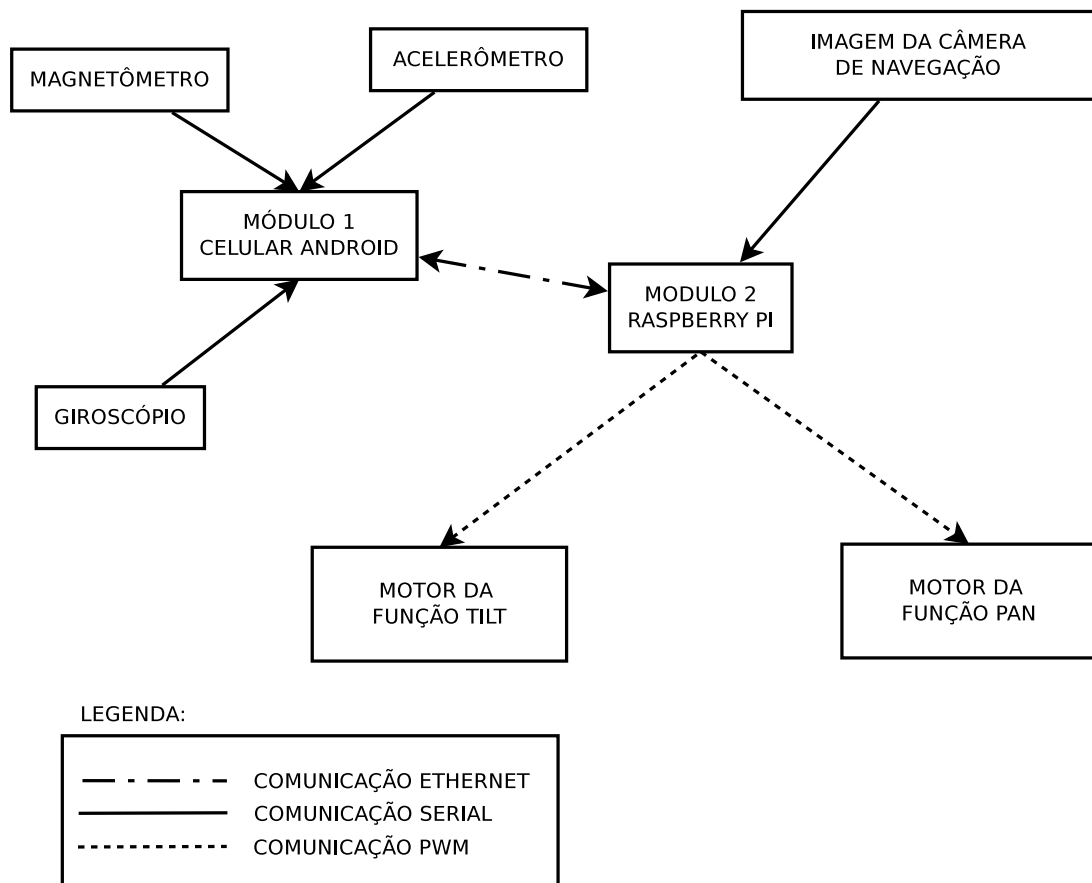


Figura 3.1 – Diagrama de blocos da comunicação entre os módulos

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Análise modal numérica

Na análise modal, as frequências naturais obtidas para os dois casos mantiveram-se afastadas da faixa de operação da turbina. Considerando uma TSR entre 2 e 3,5 e uma faixa de velocidade comumente encontrada entre 1 e 2  $m/s$  tem-se uma faixa de frequências de operação variando entre 0,62 e 2,16  $Hz$  que se encontra distante das frequências naturais encontradas para os casos analisados conforme apresentado na Tabela 4.1. Tal verificação vem confirmar a possibilidade de utilização da consideração de 1 GDL.

Tabela 4.1 – Frequências naturais obtidas [Hz].

Modo		
	Maciço	Tubo
1	9,04	7,54
2	9,08	7,55
3	13,40	9,80
4	28,68	20,19
5	28,74	20,21
6	30,32	24,56

Fonte: Autoria própria.

As Figura 4.1 e ?? apresentam algumas respostas esperadas para o primeiro e sexto modo de vibração. Nelas é possível verificar a importância da verificação das frequências de operação da turbina, que caso negligenciado pode levar a sérios danos. Também pode-se verificar que a utilização do tubo em comparação aos eixos maciços levaram a maiores deformações.

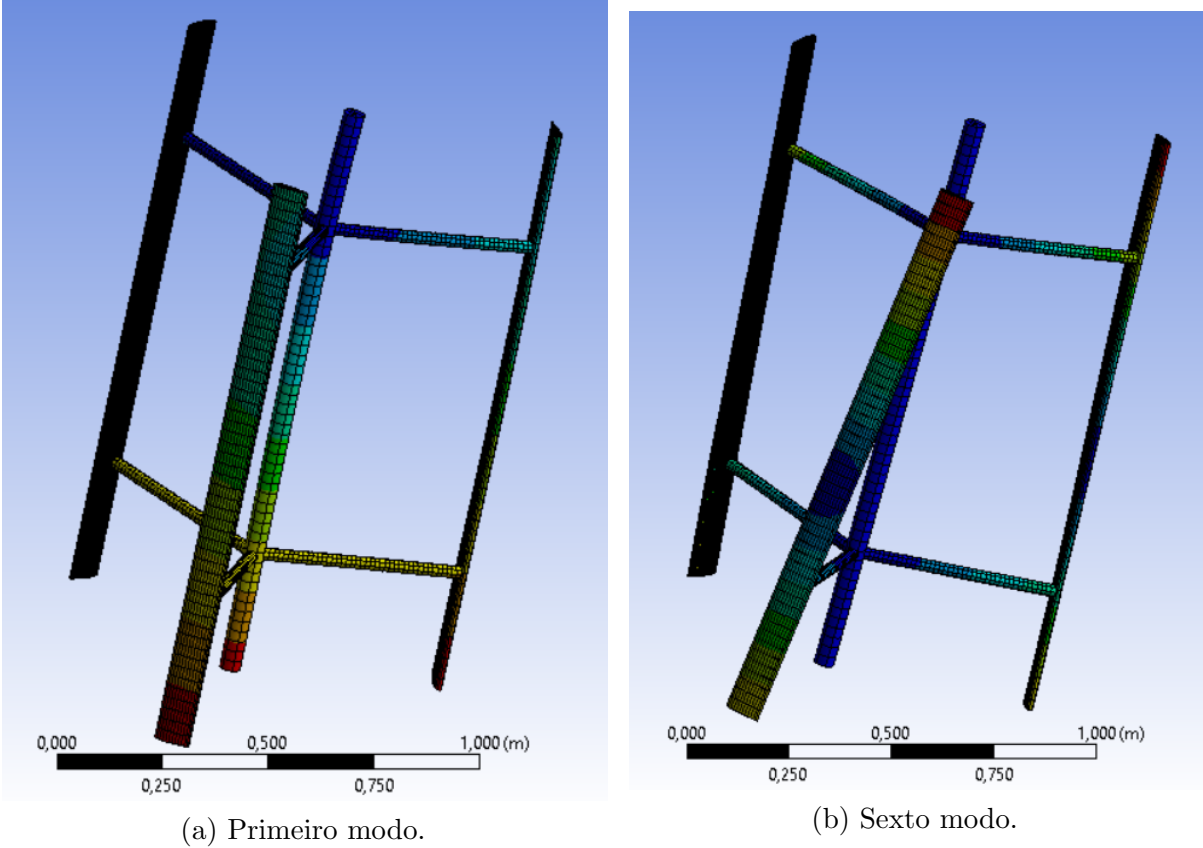
### 4.2 Double-multiple streamtube model

Em termos de torque, a Figura 4.2 apresenta o gráfico da coeficiente de torque para uma pá, onde é possível verificar que uma maior quantidade de torque é extraído no primeiro meio ciclo (0 - 180 graus) quando comparado com o segundo (180 - 360 graus).

### 4.3 Próximas etapas

Os próximos passos a serem feitos estão sintetizados na Tabela 4.2.

Figura 4.1 – Modos de vibração do sistema com eixo e braço maciços.



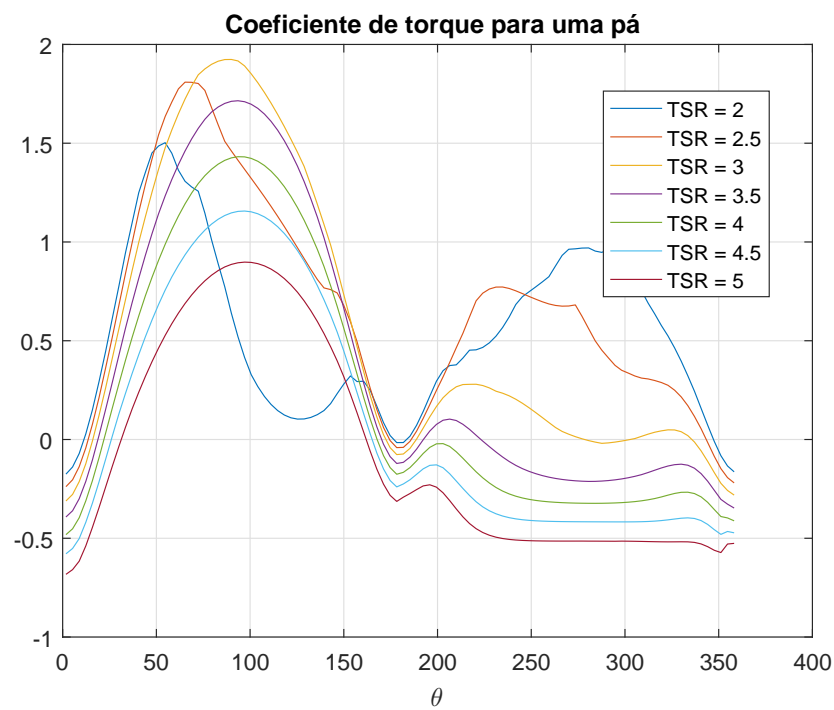
Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.2 – Cronograma.

TAREFA	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6
Verificação da influencia da água	X					
Acoplamento trem de potência	X	X	X			
Elaboração e submissão de artigo			X	X	X	
Redação final	X	X	X	X	X	X
Submissão de versão final						X

Fonte: Autoria Própria.

Figura 4.2 – Coeficiente de torque para uma pá.



Fonte: Autoria própria.

Quadro 1 – Exemplo de Quadro.

BD Relacionais	BD Orientados a Objetos
Os dados são passivos, ou seja, certas operações limitadas podem ser automaticamente acionadas quando os dados são usados. Os dados são ativos, ou seja, as solicitações fazem com que os objetos executem seus métodos.	Os processos que usam dados mudam constantemente.

Fonte: XXXXXXXXXXXX.

## 5 CONCLUSÃO

Escreva sua conclusão aqui!!!

### 5.1 Trabalhos Futuros

- Sugestão 1;
- Sugestão 2;
- ...;

## REFERÊNCIAS

- BORTOLETTO, M. É.; MACHADO, R. R.; COUTINHO, E. et al. Contaminação fúngica do acervo da biblioteca de manguinhos da fundação osvaldo cruz: Ações desenvolvidas para sua solução. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Citado na página 12.
- CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do ar interno**. [S.l.]: EPUSP São Paulo, 1999. Citado na página 12.
- HOBBYKING.COM. **Servo Motor TG9**. 2019. Online; acessado em 18/08/2019. Disponível em: <<https://cdn-global-hk.hobbyking.com/media/catalog/product/cache/9/image/660x415/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/legacy/catalog/9549.jpg>>. Citado na página 15.
- HUGHES, S.; LEWIS, M. Robotic camera control for remote exploration. In: ACM. **Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems**. [S.l.], 2004. p. 511–517. Citado na página 13.
- JUCÁ, S.; PEREIRA, R. **Aplicações Práticas de sistemas embarcados Linux utilizando Raspberry Pi**. [S.l.]: PoD, 2018. Citado na página 14.
- MECAWEB. **PWM - Modulação Por Largura de Pulso**. 2019. Disponível em: <[http://www.mecaweb.com.br/electronica/content/e\\_pwm](http://www.mecaweb.com.br/electronica/content/e_pwm)>. Citado na página 17.
- MOLINA, L.; CARVALHO, E.; MOURA, M.; FREIRE, E.; MONTALVÃO, J. Um método de visão robótica para identificação de cordões de solda em tanques de armazenamento visando inspeção automatizada. **XVII CBA**, 2008. Citado na página 12.
- PETRUZELLA, F. **Electric motors and control systems**. [S.l.]: McGraw-Hill, Inc., 2009. Citado na página 15.
- PINCKNEY, N. Pulse-width modulation for microcontroller servo control. **IEEE potentials**, IEEE, v. 25, n. 1, p. 27–29, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- PROCESSONLINE.COM.AU. **ABB wins award for submersible inspection robot**. 2019. Online; acessado em 18/08/2019. Disponível em: <<https://www.processonline.com.au/content/factory-automation/news/abb-wins-award-for-submersible-inspection-robot-993485352>>. Citado na página 12.
- SANTOS, E. C. d. S. et al. **Inspeção e adequação das instalações elétricas e procedimentos de trabalho de uma empresa à norma regulamentadora NR-10**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2012. Citado na página 12.
- SPARKFUN. **Produto Raspberry Pi - Model B**. 2011. Online; acessado em 18/08/2019. Disponível em: <<https://cdn.sparkfun.com//assets/parts/7/4/9/7/11546-01.jpg>>. Citado na página 14.
- TRACTICA.COM. **Sensabot Is the First Inspection Robot Approved for Use by Oil and Gas Companies**. 2016. Online; acessado em 18/08/2019. Disponível em: <<https://www.tractica.com/robotics/>>



sensabot-is-the-first-inspection-robot-approved-for-use-by-oil-and-gas-companies/>.  
Citado na página 12.

## Apêndices

## APÊNDICE A – Nome do apêndice

Lembre-se que a diferença entre apêndice e anexo diz respeito à autoria do texto e/ou material ali colocado.

Caso o material ou texto suplementar ou complementar seja de sua autoria, então ele deverá ser colocado como um apêndice. Porém, caso a autoria seja de terceiros, então o material ou texto deverá ser colocado como anexo.

Caso seja conveniente, podem ser criados outros apêndices para o seu trabalho acadêmico. Basta recortar e colar este trecho neste mesmo documento. Lembre-se de alterar o "label" do apêndice.

Não é aconselhável colocar tudo que é complementar em um único apêndice. Organize os apêndices de modo que, em cada um deles, haja um único tipo de conteúdo. Isso facilita a leitura e compreensão para o leitor do trabalho.

## APÊNDICE B – Nome do outro apêndice

conteúdo do novo apêndice

## **Anexos**

## **ANEXO A – Nome do anexo**

Lembre-se que a diferença entre apêndice e anexo diz respeito à autoria do texto e/ou material ali colocado.

Caso o material ou texto suplementar ou complementar seja de sua autoria, então ele deverá ser colocado como um apêndice. Porém, caso a autoria seja de terceiros, então o material ou texto deverá ser colocado como anexo.

Caso seja conveniente, podem ser criados outros anexos para o seu trabalho acadêmico. Basta recortar e colar este trecho neste mesmo documento. Lembre-se de alterar o "label" do anexo.

Organize seus anexos de modo a que, em cada um deles, haja um único tipo de conteúdo. Isso facilita a leitura e compreensão para o leitor do trabalho. É para ele que você escreve.

**ANEXO B – Nome do outro anexo**

conteúdo do outro anexo