

Sistema de coordenadas para posicionamento de instrumentos de medição em um túnel de vento

Alexandre Marques Baldez Junior - abaldezjr@gmail.com
Rodrigo de Souza Torma - rstorma@hotmail.com



Universidade Federal do Rio Grande
Engenharia Mecânica empresarial



Orientador: Prof. Dr. Gustavo da Cunha Dias
Co-Orientador: Prof. Me. Letieri Rodrigues de Ávila

Rio Grande, 25 de maio de 2021

Introdução

○
○○○○
○
○
○

Referencial teórico

○
○○
○
○

Metodologia

○
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○

Considerações finais

○
○○
○○○
○

Roteiro

Introdução

Referencial teórico

Metodologia

Resultados e discussão

Considerações finais

Introdução

●
○○○○
○
○
○

Referencial teórico

○
○○
○
○○

Metodologia

○
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○○

Considerações finais

○
○○
○○○
○

Roteiro

Introdução

- Apresentação do tema
- Apresentação do problema
- Justificativa
- Objetivos

Referencial teórico

Metodologia

Resultados e discussão

Considerações finais



Apresentação do tema

Apresentação do tema

- ▶ A mecânica dos fluidos é uma área muito complexa da engenharia.
- ▶ Nem sempre é possível projetar com precisão sem uma análise prévia da ação de esforços sobre algum material.
- ▶ O estudo da ação do ar sobre estruturas pode ser um fator determinante para o sucesso de um projeto.



Apresentação do tema

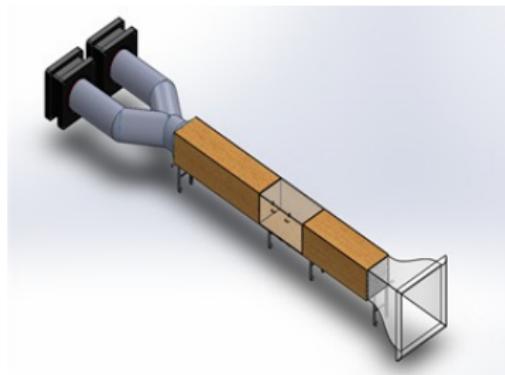
Apresentação do tema

- ▶ A análise aerodinâmica pode apresentar dados confiáveis ao projetista para tomada de decisão.
- ▶ Através das leis de similaridade, aplica-se fatores de escala para replicar os resultados em escalas reais.
- ▶ De uma forma menos onerosa é possível se fazer esse estudo em escala reduzida e com condições controladas em laboratório.

Apresentação do tema

Túnel de vento

Os túneis de vento são as bancadas de testes para estudos de escoamento de ar, onde é possível simular cenários e avaliar a interação do fluido e estrutura.





Apresentação do tema

Instrumentos de medição

Uma das grandezas obtidas é a velocidade do fluido, a qual é medida por instrumentos como tubo de Pitot ou sonda de anemômetro de fio quente.





Apresentação do problema

Apresentação do problema

- ▶ O posicionamento dos instrumentos dentro do túnel de vento é realizado de forma manual, exigindo que o operador desligue o túnel.
- ▶ Isso causa uma baixa repetibilidade e menor precisão.
- ▶ Para tanto, propomos o desenvolvimento de um mecanismo que faça esse deslocamento dos instrumentos de medição de forma automatizada.

Introdução

○
○○○○
○
●
○

Referencial teórico

○
○○
○
○○

Metodologia

○
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○○

Considerações finais

○
○○
○○○
○

Justificativa

Justificativa

A realização desse trabalho justifica-se por desenvolver um equipamento que agregue um sistema de coordenadas bidimensional para posicionamento de instrumentos de medição no túnel de vento do Laboratório de Sistemas Térmicos da Universidade Federal do Rio Grande.



Objetivos

Objetivo geral

Desenvolver um dispositivo para o posicionamento de equipamentos de medições dentro de um túnel de vento para facilitar o processo de avaliação de velocidades e pressões de forma automatizada.

Objetivos específicos:

- ▶ Projetar a mesa cartesiana.
- ▶ Criar o sistema eletrônico de comunicação entre a mesa e o software.
- ▶ Desenvolver o software que comandará a mesa cartesiana.

Introdução

○
○○○○
○
○
○

Referencial teórico

●
○○
○
○○

Metodologia

○
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○○

Considerações finais

○
○○
○○○
○

Roteiro

Introdução

Referencial teórico

Túnel de vento
Tubo de Pitot
Mesa de posicionamento

Metodologia

Resultados e discussão

Considerações finais





Túnel de vento

Túnel de vento

Os túneis de vento são estruturas que propiciam a simulação para o desenvolvimento de estudos que relacionam o efeito do movimento de ar em torno de objetos, como turbinas, aviões, carros e edificações.

- ▶ Circuito: Aberto e fechado.
- ▶ Vel. escoamento: Subsônico, supersônico e hipersônico.
- ▶ Para aberto: Soprador e sugador.



Túnel de vento

Túnel de vento

O túnel de vento tratado neste trabalho está situado junto ao Laboratório de Sistemas Térmicos da Universidade Federal do Rio Grande e é de característica subsônica, circuito aberto e do tipo soprador.

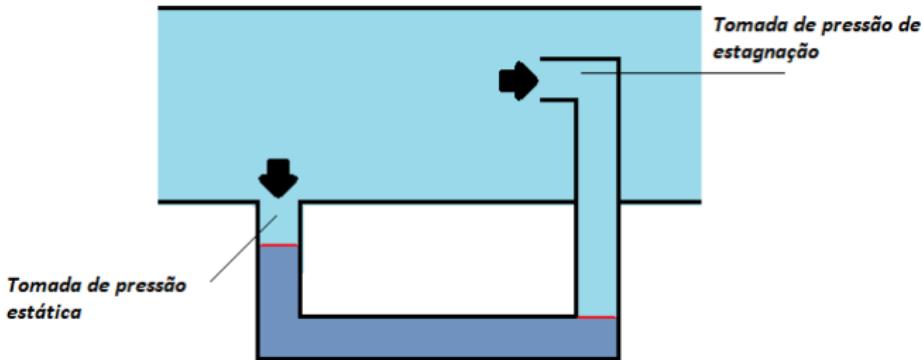


Tubo de Pitot

Tubo de pitot

A subtração da pressão total da estática resulta na pressão dinâmica do escoamento

Pressão dinâmica = Pressão total - Pressão estática



Mesa de posicionamiento

Mesa de posicionamiento

Podem ser classificadas em dois tipos com relação a sua transmissão: as mesas acionadas por fusos e por correias sincronizadas.



Mesa de posicionamiento

Mesa de posicionamiento

Outro componente importante é o acionador, que pode ser um motor de passo ou um servomotor.

Os motores de passo são máquinas utilizadas em aplicações de um alto grau de precisão no movimento em passos fixos, referentes a uma fração de ângulo.



Introdução

○
○○○○
○
○
○

Referencial teórico

○
○○

Metodologia

●
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○○

Considerações finais

○
○○
○○○
○

Roteiro

Introdução

Referencial teórico

Metodologia

- Sistema mecânico
- Sistema eletrônico
- Sistema de software
- Integração dos sistemas

Resultados e discussão

Considerações finais

- 1

-

- ○○
○○○
○

Sistema mecânico

Estrutura



Figura: Perfil V-slot 20 x 40 mm em alumínio.

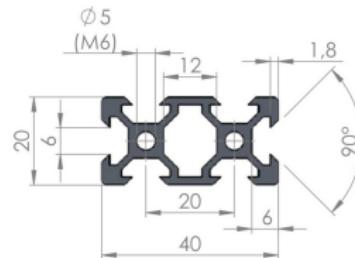


Figura: Dimensões do perfil
20 x 40 mm.



Sistema mecânico

Estrutura



Figura: Perfil V-Slot 20 x 20 mm em alumínio.

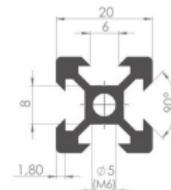


Figura: Dimensões do perfil 20 x 20 mm.



Sistema mecânico

Estrutura

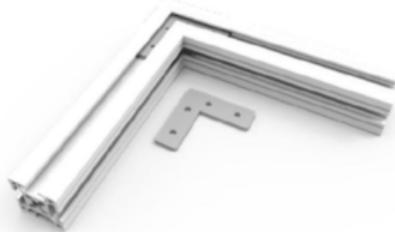
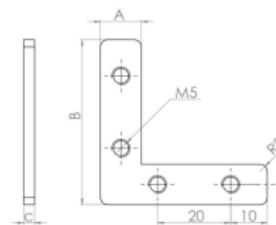


Figura: Placa de conexão interna de 90°.



CÓDIGO	A	B	C	BASE
CNI20-01	9.5	44.7	3	20
CNI20-11	8	40	3	V-SLOT
CNI30-01	15	47.5	3	30
CNI45-01	13.4	37.2	9.5	45 PARAUSO

*medidas em milímetros

Figura: Dimensões da placa de conexão interna de 90°.

Introdução

Referencial teórico

Metodologia

Resultados e discussão

Considerações finais

○
○
○
○

8

○

10

Sistema mecânico

Estrutura



Introdução

Referencial teórico

Metodología

Resultados e discussão

Considerações finais

○
○○
○
○○

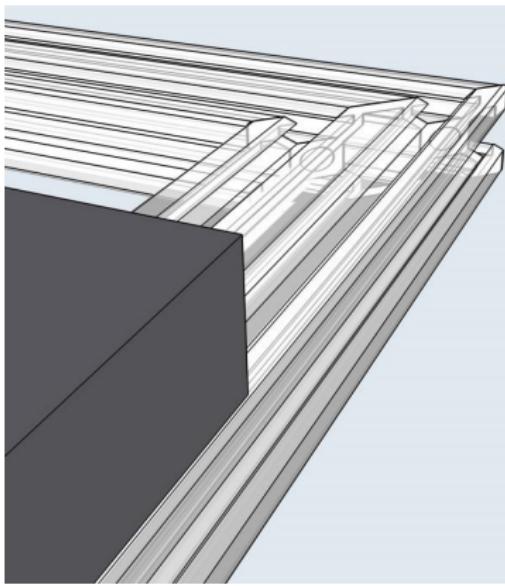
10

10

100

Sistema mecânico

Estrutura



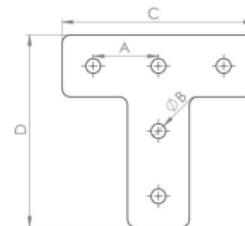


Sistema mecânico

Estrutura



Figura: Placa T simples de aço.



CÓDIGO	A	B	C	D	MATERIAL	BASE
PA15-01	15	3,2	44	44	Alumínio	15
PLT-20	20	6,6	58	58	Aço	20
PLT-30	30	6,6	88	88	Aço	30
PLT-40	40	9	118	118	Aço	40/45

*medidas em milímetros

Figura: Dimensões da placa T simples.



Sistema mecânico

Sistema de transmissão

O sistemas de transmissão de potência será dado por meio de fuso trapezoidal. O fuso terá as seguintes características:

- ▶ Rosca TR8x8mm
- ▶ Passo 2mm com 4 entradas
- ▶ Avanço de 8mm por volta, permitindo um deslocamento rápido.





Sistema mecânico

Acionador

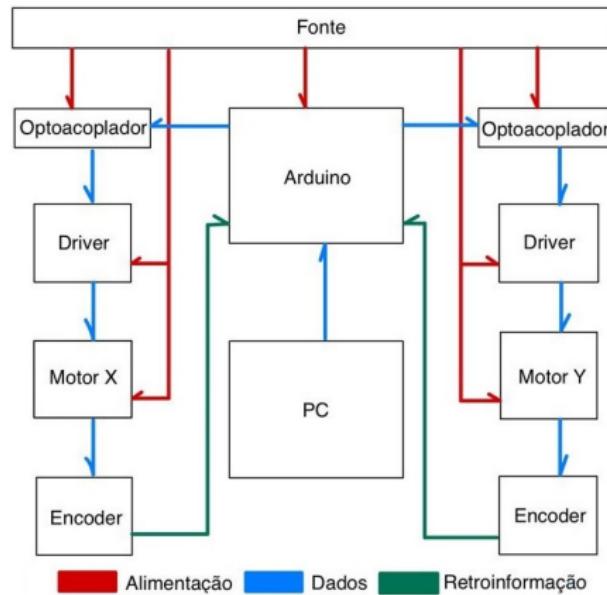
O acionamento do sistema de transmissão será feito através de motores de passo, serão utilizados dois motores para o deslocamento vertical e um motor para o deslocamento horizontal.

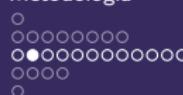




Sistema eletrônico

Diagrama de blocos do sistema eletrônico





Sistema eletrônico

Placa de prototipagem eletrônica Arduino

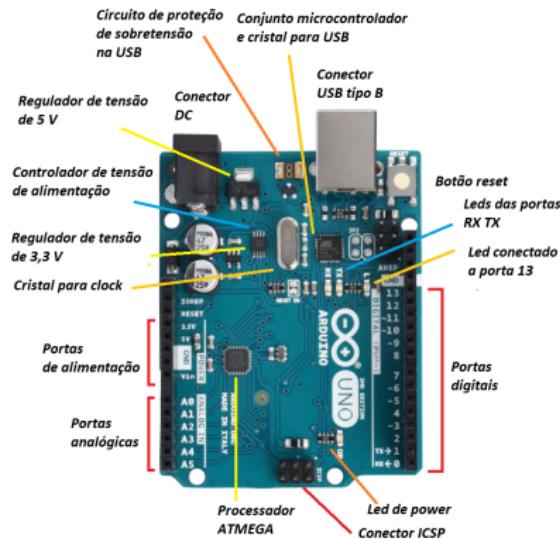
Funções:

- ▶ Recepção e tratamento dos dados provenientes da interface computacional;
- ▶ O controle dos motores está fundamentado na programação do microcontrolador de acordo com as necessidades definidas inicialmente para operação da mesa cartesiana.



Sistema eletrônico

Placa de prototipagem eletrônica Arduino

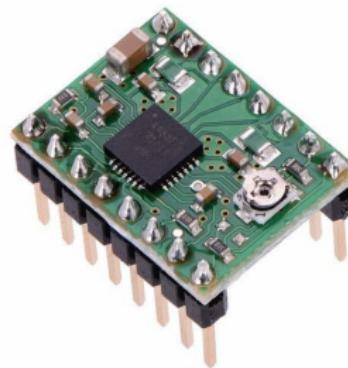




Sistema eletrônico

Drivers de potência

Os drivers têm a função de, a partir dos sinais originados pelo Arduino, atender a demanda dos motores de passo utilizados.





Atuadores

O motor de passo foi escolhido para esse projeto devido a sua capacidade de realizar passos, que são rotações discretas incrementais e precisas.

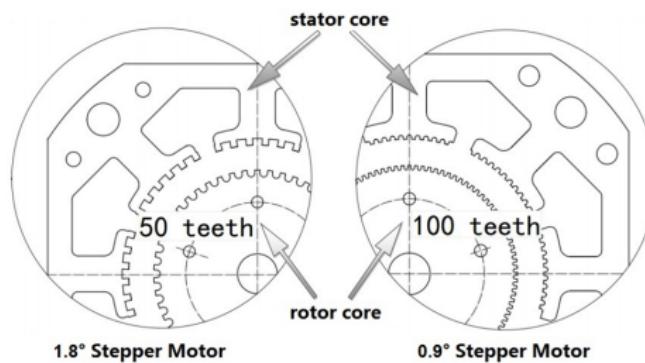




Sistema eletrônico

Atuadores

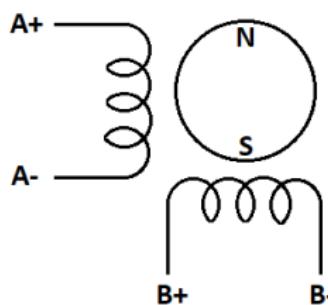
Os passos são definidos por um número fixo de pólos magnéticos de dente de engrenagens do motor determinando assim, a precisão de ângulo de rotação do motor de passo.





Sistema eletrônico

Atuadores



Passo	A+	B+	A-	B-	Decimal
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	2
3	0	1	0	0	4
4	1	0	0	0	8

Fonte de alimentação

Para a escolha correta da fonte de alimentação é necessário definir a demanda de energia elétrica que os dispositivos que são alimentados pela fonte necessitam.

Conforme a determinação da tensão de saída e o cálculo de corrente necessária, é possível determinar que a fonte deve ter 12 V e 10,64 A.

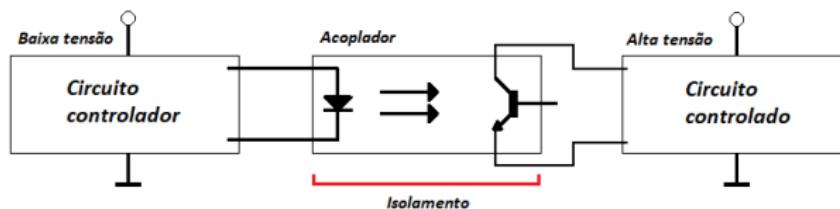




Sistema eletrônico

Acopladores ópticos

A aplicação dentro do projeto é o isolamento elétrico que pode ser estabelecido entre os circuitos de controle de potência, protegendo os circuitos sensíveis a uma alta tensão como a placa controladora Arduino.





Sistema eletrônico

Encoders

Responsáveis pelo sistema de controle de posição transformando a medida de posição em sinal elétrico digital transmitida à placa controladora.





Sistema eletrônico

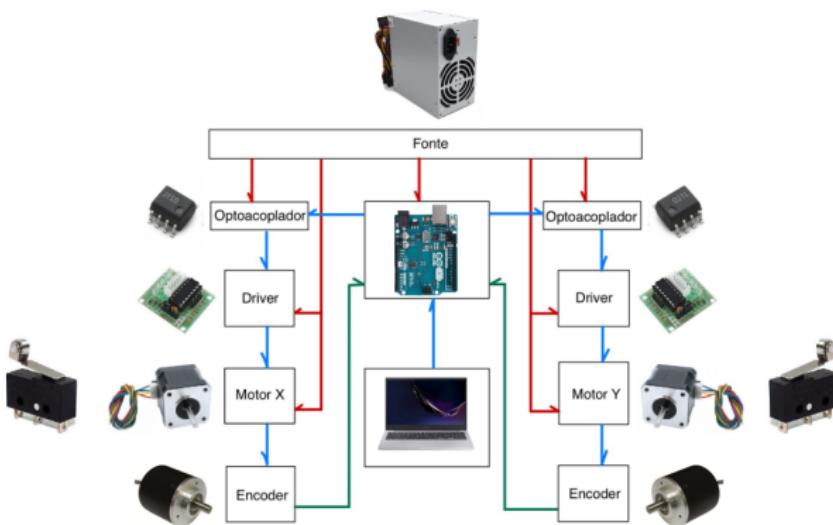
Chaves fim de curso

Limitação de campo de movimento de eixos, como os presentes na mesa cartesiana. Tem a capacidade de mudança de estado de conexão em circuitos, alternando o estado de aberto para fechado e vice-versa.



Sistema eletrônico

Diagrama de blocos do sistema eletrônico





Sistema de software

Plataforma de prototipação Arduino IDE

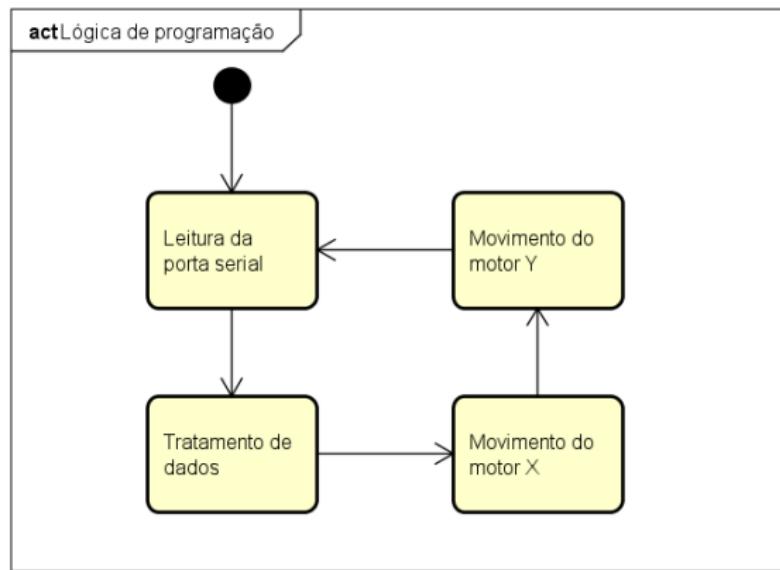
É um software que permite o desenvolvimento e envio de códigos compilados direto para o microcontrolador.





Sistema de software

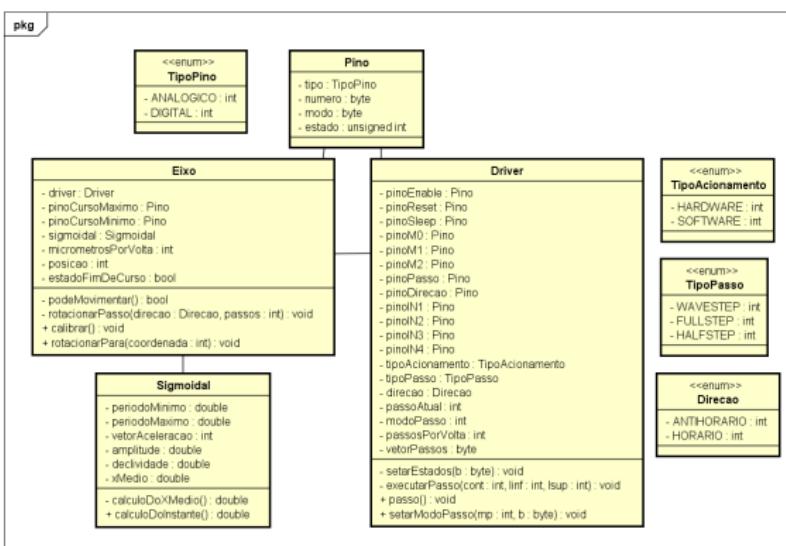
Lógica de programação





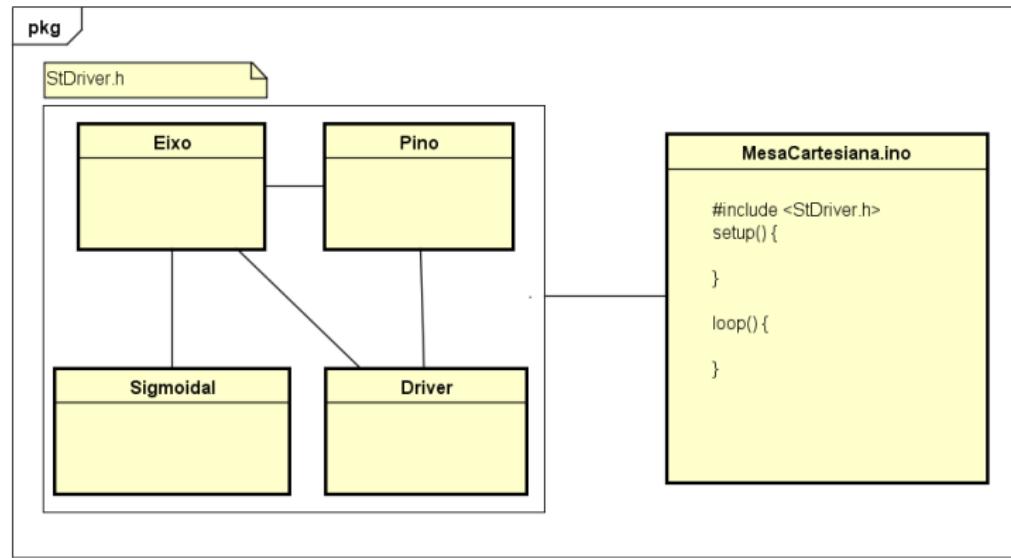
Sistema de software

Diagrama de classes



Sistema de software

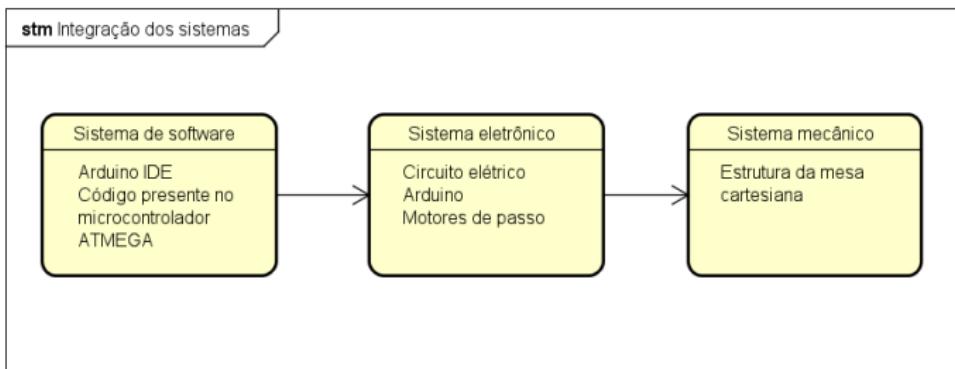
Organização geral do software





Integração dos sistemas

Integração dos sistemas



Introdução



Referencial teórico



Metodologia



Resultados e discussão



Considerações finais



Roteiro

Introdução

Referencial teórico

Metodologia

Resultados e discussão

Sistema mecânico

Sistema de software

Considerações finais

Sistema mecânico

Mesa cartesiana





Sistema de software

Classe Pino

```
1 pinoEnableX = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_ENABLE_X,  
2   OUTPUT, LOW);  
3 pinoResetX = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_RESET_X,  
4   OUTPUT, LOW);  
5 pinoSleepX = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_SLEEP_X,  
6   OUTPUT, LOW);  
7 pinoM0X = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_M0_X,  
8   OUTPUT, LOW);  
9 pinoM1X = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_M1_X,  
10  OUTPUT, LOW);  
11 pinoM2X = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_M2_X,  
12  OUTPUT, LOW);
```





Sistema de software

Classe Sigmoidal

```
1 sigmoidalX = new Sigmoidal(SIG_PERIODO_MAXIMO_X,  
                           SIG_PERIODO_MINIMO_X, SIG_DECLIVIDADE_X);
```



Sistema de software

Classe Driver - HARDWARE

```
1 pinoPassoX = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_PASSO_X,  
    OUTPUT, LOW);  
2 pinoDirecaoX = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_DIRECAO_X,  
    OUTPUT, LOW);  
3 driverX = new Driver(pinoEnableX, pinoResetX,  
    pinoSleepX, pinoM0X, pinoM1X, pinoM2X, pinoPassoX,  
    pinoDirecaoX);
```





Sistema de software

Classe Driver - SOFTWARE

```
1 pinoIN1X      = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_IN1_X,
    OUTPUT, LOW);
2 pinoIN2X      = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_IN2_X,
    OUTPUT, LOW);
3 pinoIN3X      = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_IN3_X,
    OUTPUT, LOW);
4 pinoIN4X      = new Pino(Pino::DIGITAL, PINO_IN4_X,
    OUTPUT, LOW);
5 driverX       = new Driver(Driver::WAVESTEP, pinoEnableX,
    pinoResetX, pinoSleepX, pinoM0X, pinoM1X, pinoM2X,
    pinoIN1X, pinoIN2X, pinoIN3X, pinoIN4X,
    vetorPassos);
```





Sistema de software

Classe Eixo

```
1 driverX = new Driver(pinoEnableX, pinoResetX,  
                      pinoSleepX, pinoM0X, pinoM1X, pinoM2X, pinoPassoX,  
                      pinoDirecaoX);  
2 cursoMaximoX = new Pino(Pino::DIGITAL,  
                           PINO_CURSOMAXIMO_X, INPUT, HIGH);  
3 cursoMinimoX = new Pino(Pino::DIGITAL,  
                           PINO_CURSOMINIMO_X, INPUT, HIGH);  
4 sigmoidalX = new Sigmoidal(SIG_PERIODO_MAXIMO_X,  
                           SIG_PERIODO_MINIMO_X, SIG_DECLIVIDADE_X);  
5 eixoX = new Eixo(driverX, MILIMETROS_POR_VOLTA_X,  
                   ESTADO_FIM_DE_CURSO_X, cursoMaximoX, cursoMinimoX,  
                   sigmoidalX);
```





Sistema de software

MesaCartesiana.ino

```
1 void inicializarEixos(Driver::TipoAcionamento tp);  
2 void interpretarComandos(String comando);  
3 void movimentarMesa(String coordenada);  
4 void escolherModoPasso(Eixo *e, String modoPasso);  
5 void setup();  
6 void loop();  
7 void serialEvent();
```



Roteiro

Introdução

Referencial teórico

Metodologia

Resultados e discussão

Considerações finais

Críticas e sugestões para trabalhos futuros

Repositórios

Informações do projeto



Críticas e sugestões para trabalhos futuros

Críticas

Algumas críticas podem ser levantadas sobre o protótipo do projeto como:

- ▶ A versão do projeto ainda não possui um sistema completamente automatizado, sendo possível realizar somente a captura dos dados de uma coordenada por vez.
- ▶ Os dados ainda não foram capturados através de algum sensor digital.
- ▶ Os dados não são apresentados de forma gráfica.
- ▶ O sistema eletrônico não tem um case para seu abrigo estando desprotegido, além de ter sido desenvolvido em uma versão de protótipo com a placa Arduino.



Críticas e sugestões para trabalhos futuros

Sugestões

Algumas melhorias podem ser sugeridas para uma próxima versão do projeto como:

- ▶ Capturar os dados de forma digital através de um sensor.
- ▶ Automatizar a captura de dados para que seja possível o usuário planejar uma rotina e saber o seu tempo estimado.
- ▶ Integrar o sistema de software da mesa cartesiana a um aplicativo que faça geração de relatórios, para uma visualização dos dados de forma gráfica.
- ▶ Desenvolver o circuito eletrônico em uma placa de circuito impresso com os devidos componentes.
- ▶ Projetar um case (caixa) para abrigar os componentes do circuito eletrônico.

Introdução

○
○○○○
○
○
○

Referencial teórico

○
○○
○
○

Metodologia

○
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○○

Considerações finais

○
○○
●○○
○

Repositórios

Repositório do código do Arduino

The screenshot shows a GitHub repository page for the user 'abaldezjr'. The repository name is 'MesaCartesiana'. The commit history is listed on the left, showing the following commits:

- main branch, 2 branches, 0 tags.
- abalandejr feitoando commit integrado com o eclipse IDE (2 months ago)
- .settings Incluindo inicio do projeto (2 months ago)
- Release retirando includes (2 months ago)
- StDriver testando master (2 months ago)
- .cproject Atualizando pastas (2 months ago)
- .gitignore atualizando nome de alexandre (2 months ago)
- .project Incluindo inicio do projeto (2 months ago)
- MesaCartesiana.ino Testando commit integrado com o eclipse IDE (last month)
- README.md arrumando acentos (2 months ago)
- git.txt Colocando o nome (2 months ago)
- sloeber.ino.cpp Testando commit integrado com o eclipse IDE (last month)
- spec.d Incluindo inicio do projeto (2 months ago)

On the right, there is a sidebar with options: Go to file, Add file, Clone (selected), SSH, GitHub CLI, Open with GitHub Desktop, and Download ZIP.



Introdução

○
○○○○
○
○
○

Referencial teórico

○
○○
○
○

Metodologia

○
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○○

Considerações finais

○
○○
○●○
○

Repositórios

Repositório do Latex do trabalho de conclusão de curso

The screenshot shows a GitHub repository interface. At the top, it displays 'main' branch, 1 branch, 0 tags, Go to file, Add file, and a green 'Code' button. A modal window titled 'Clone' is open, showing options for HTTPS, SSH, and GitHub CLI, along with the URL <https://github.com/abaldezjr/tcc.git>. Below the modal, the repository's file structure and commit history are listed:

File	Description	Last Commit
Apostilas	alterando os arquivos iniciais	7 days ago
elementos-pos-textuais	Versão com correções enviadas pelo orientador	28 days ago
elementos-pre-textuais	Versão com correções enviadas pelo orientador	28 days ago
elementos-textuais	Versão com correções enviadas pelo orientador	28 days ago
figuras	Atualizando desenhos do apêndice	7 days ago
lib	Última atualização antes de entregar para o orientador	7 days ago
.gitattributes	Initial commit	28 days ago
.gitignore	Initial commit	28 days ago
LICENSE	Initial commit	28 days ago
README.md	Initial commit	28 days ago
diagramaclasses.asta	Adicionando o projeto asta no projeto, com as figuras exportadas do a...	18 days ago
info.tex	Consertando bugs da folha de rosto e folha de aprovação	11 days ago
main.pdf	Versão com correções enviadas pelo orientador	3 hours ago
main.tex	Ajustes finais antes da entrega	8 days ago



Introdução

○
○○○○
○
○
○

Referencial teórico

○
○○
○
○

Metodologia

○
○○○○○○○○
○○○○○○○○○○○○
○○○○

Resultados e discussão

○
○
○○○○○

Considerações finais

○
○○
○○●
○

Repositórios

Repositório do Latex da apresentação

The screenshot shows a GitHub repository interface. At the top, it displays 'main' branch, 1 branch, 0 tags, and various download options like 'Go to file', 'Add file', 'Code', 'Clone', 'HTTPS', 'SSH', 'GitHub CLI', 'Open with GitHub Desktop', and 'Download ZIP'. The repository name is 'abaldezjr Atualização da titlepage'. The file list includes:

- figuras (Atualização da titlepage)
- lib (Atualização da titlepage)
- slides (Versão base da apresentação)
- video (Versão base da apresentação)
- .gitattributes (Initial commit)
- .gitignore (Initial commit)
- LICENSE (Initial commit)
- README.md (Initial commit)
- beamercolorthemelsc.sty (Versão base da apresentação)
- beamertouterthemelsc.sty (Versão base da apresentação)
- beamertHEMElsc.sty (Versão base da apresentação)
- main.pdf (Atualização da titlepage)
- main.tex (Atualização da titlepage)

Each file entry shows its commit message and the time it was last updated, such as '6 days ago'.





Informações do projeto

Informações sobre o trabalho

Referências:

- ▶ Apresentação - <https://github.com/abaldezjr/abaldezjr/blob/main/apresentacao-tcc.pdf>
- ▶ Latex da apresentação - <https://github.com/abaldezjr/apresentacao-tcc>
- ▶ Trabalho de conclusão de curso - <https://github.com/abaldezjr/abaldezjr/blob/main/tcc.pdf>
- ▶ Latex do trabalho de conclusão de curso - <https://github.com/abaldezjr/tcc>
- ▶ Projeto do código presente na Placa Arduino - <https://github.com/abaldezjr/MesaCartesiana>

Contatos:

- ▶ Alexandre Baldez Jr. - abaldezjr@gmail.com - <https://github.com/abaldezjr>
- ▶ Rodrigo Torma - rstorma@hotmail.com