

João Manoel Mariano

**AUTOMAÇÃO DE DISPOSITIVO PARA
MEDIÇÃO DE LIMITE DE LIQUIDEZ
CONCHA CASAGRANDE COM SENSOR
LASER**

Toledo

2021

João Manoel Mariano

**AUTOMAÇÃO DE DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO
DE LIMITE DE LIQUIDEZ CONCHA
CASAGRANDE COM SENSOR LASER**

Título do trabalho em inglês

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Marcos Roberto Bombacini

Toledo
2021



4.0 Internacional

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, com crédito atribuído ao autor. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original.

João Manoel Mariano

**AUTOMAÇÃO DE DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO
DE LIMITE DE LIQUIDEZ CONCHA
CASAGRANDE COM SENSOR LASER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Toledo, 15 de maio de 2021:

Prof. Marcos Roberto Bombacini
Orientador

Prof. Alberto Vinicius de Oliveira
UTFPR-TD

Marcos Vinicius Schlichting
UTFPR-TD

Toledo
2021

A folha de aprovação com as assinaturas encontra-se na coordenação do curso

RESUMO

O dispositivo mecânico, conhecido como aparelho Concha de Casagrande, é utilizado como padrão para determinar limite de liquidez do solo. Atualmente, existem duas versões de dispositivo disponíveis no mercado: uma manual, sem o contador de golpes, que faz o uso de uma manivela, e outra automática, com contador de golpes e motor elétrico para movimentação do eixo da concha. Como as duas versões dependem da habilidade do operador durante o ensaio, nenhuma delas consegue proporcionar precisão e repetibilidade adequada nos resultados. Este Trabalho de Conclusão de Curso é a continuação da implementação eletrônica no dispositivo, contribuindo assim com a automação da egressa Cristiane Barbosa Prado, onde foi realizado a automação do movimento cadenciado do motor em uma frequência de 120 Hz e um contador de golpes apresentado ao usuário por meio de um *display*. A nova etapa do processo conta com um sensor laser do tipo LiDAR que faz a captura de pontos ao longo da concha de forma indireta, finalizando o processo com a parada do motor ao atingir os 12,7 mm de comprimento na extensão da concha e mostrando o número de voltas ao final do processo.

Palavras chave:**Repetibilidade. Sensor laser. Automação. Aquisição de dados. Interferência humana**

ABSTRACT

The mechanical device, known as Concha de Casagrande device, is used as a pattern to determine soil. Currently, there exist two device versions in the market, a manual, without a hit counter, and another with a hit counter and an electric engine for movement of the shell axis. Like the two versions, they depend on operator ability during the test, and none of them manage to provide precision and repeatability in results. This thesis is the continuation of the electronic implementation on the device, thus contributing to the automation of the process. Graduate Cristiane Barbosa Prado, where the automated movement of the motor was performed at a frequency of 120 Hz and a stroke counter presented to the user through a *display*. The new stage of the process has a laser sensor of the type LiDAR that captures points along the shell in an indirect way, ending the process with the engine stopping when it reaches 12.7 mm in length in the shell extension and showing the number of laps at the end of the process.

Keywords: Repeatability. Laser sensor. soil liquidity limit. Human interference

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Concha de Casagrande e cinzeis	11
Figura 2 – Curva de Fluxo de Umidade X Número de golpes N	12
Figura 3 – Aparelho Casagrande elétrico com contador de golpes I-1002-D	13
Figura 4 – Aparelho Casagrande elétrico com contador de golpes completo	13
Figura 5 – Estados do solo dependentes do teor de umidade	16
Figura 6 – Porcentagem de umidade X número de batidas de cada operador	17
Figura 7 – Limite de liquidez através do número de golpes por segundo	18
Figura 8 – Concha de Casagrande automatizado	19
Figura 9 – Sensor do tipo triangulação	19
Figura 10 – Sensor Vivid - 910, Minolta - principio de triangulação	20
Figura 11 – HPS-LC010 - principio de detecção de variação de luz	21
Figura 12 – Esquema de reflexão	21
Figura 13 – Reflexão difusa	22
Figura 14 – Reflexão Especular	23
Figura 15 – Sinal PWM - Tensão x Tempo	24
Figura 16 – Barramento de comunicação I^2C	24
Figura 17 – Efeito <i>bounce</i> em botão	25
Figura 18 – Método <i>pull up</i> e <i>pull down</i>	26
Figura 19 – Circuito regulador de tensão	27
Figura 20 – Diagrama de blocos com as principais funções e componentes	29
Figura 21 – ESP-WROOM-32	30
Figura 22 – Motor <i>DC 6 V</i> com <i>Encoder</i>	31
Figura 23 – Vista frontal do <i>Encoder</i>	31
Figura 24 – Ponte H L29N	31
Figura 25 – <i>Display LCD</i> com comunicação I^2C integrada	32
Figura 26 – Chave Botão- DS-323 Push Button NA	32
Figura 27 – Fonte de alimentação	33
Figura 28 – Sensor <i>laser</i> VL53L0X	34
Figura 29 – Módulo Laser de alinhamento em cruz	34
Figura 30 – Fluxograma dos principais processos do programa	35
Figura 31 – Teste de precisão do sensor laser acoplado ao servo motor	37
Figura 32 – Teste de precisão com sensor laser fixado acima da concha	38
Figura 33 – Material metálico utilizado para testes de distância e reflexão	39
Figura 34 – Eixo para acoplamento do motor DC	42
Figura 35 – Sistema com sensor e módulo de alinhamento fixados	43
Figura 36 – Esboço do sensor VL53L0X	44

Figura 37 – Módulo laser de alinhamento na maior e menor distância captada pelo sensor	45
Figura 38 – Distância medida com paquímetro	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>DC</i>	<i>DirectCurrent</i>
<i>I²C</i>	<i>Inter Integrated Circuit</i>
<i>LC</i>	Limite de Contração
<i>LL</i>	Limite de Liquidez
<i>LP</i>	Limite de Plasticidade
<i>R1</i>	<i>Resistor de ajuste 1</i>
<i>R1</i>	<i>Resistor de ajuste 3</i>
<i>R2</i>	<i>Resistor de ajuste 2</i>
<i>R2</i>	<i>Resistor de ajuste 4</i>
<i>T</i>	Período
<i>t_{on}</i>	<i>timeon</i>
<i>LiDAR</i>	<i>Light Detection And Ranging</i>
<i>CCD</i>	<i>Charge Coupled Device</i>
<i>cm</i>	centímetro
<i>PWM</i>	<i>Pulse Width Modulation</i>
<i>SCL</i>	<i>Serial Clock</i>
<i>SDA</i>	<i>Serial Data</i>
<i>V_{in}</i>	<i>Tensão de entrada</i>
<i>V_{out}</i>	<i>Tensão de saída</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>C1</i>	<i>Capacitor de entrada</i>
<i>C2</i>	<i>Capacitor de saída</i>
<i>CI</i>	<i>Circuito Integrado</i>
R1	resistor 1
R2	resistor 2
S1	botão 1
S2	botão 2
VCC	tensão em corrente continua

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	14
1.1.1	Objetivos Específicos	14
1.2	Justificativa	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Determinação do limite de liquidez	16
2.2	Varredura com sensores laser	19
2.3	Reflexão da luz	21
2.4	Modulação por largura de pulso	23
2.5	Protocolo de comunicação I^2C	24
2.6	Debounce em botão	25
2.7	Regulador de tensão	26
2.8	Desvio padrão	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	Materiais	29
3.1.1	Microcontrolador ESP-32	29
3.1.2	Motor <i>DC</i> 6V com encoder	30
3.1.3	Ponte H L29N	31
3.1.4	<i>Display LCD</i> com comunicação I^2C integrada	32
3.1.5	Botão <i>Push – button</i>	32
3.1.6	Fonte de alimentação	33
3.1.7	Sensor <i>laser</i> VL53L0X	33
3.1.8	Módulo <i>laser</i> de alinhamento em cruz	34
3.2	Método	35
3.2.1	Teste de distância	38
3.2.2	Teste de reflexão	39
3.2.3	Teste em solo	40
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	42
4.1	Partes mecânicas	42
4.2	Sincronização	43
4.3	Aquisição de distâncias no fechamento do talude	44
5	CONCLUSÃO	46

6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O solo tem grande importância em vários setores da engenharia, por exemplo na agricultura, existe o estudo do solo para o plantio e manejo de plantações com o intuito de retirar do solo a maior quantidade de nutrientes e ter a sua conservação ao longo do uso.

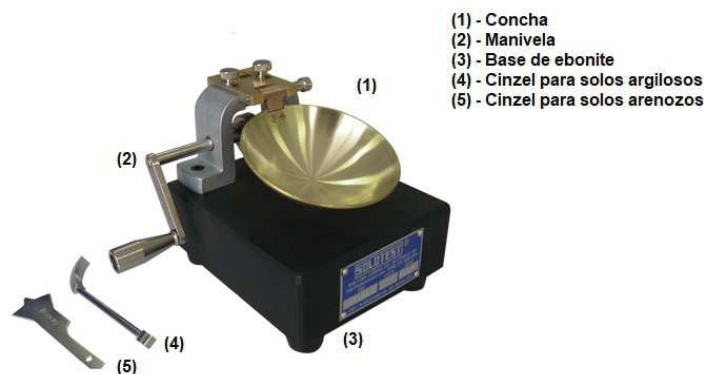
A consistência do solo é uma das mais importantes características da engenharia, pois determina o comportamento deste perante deformações de tensões e contrações. O referido grau de consistência exerce influência sobre o volume de água encontrado, interferindo na curva de umidade, afetando a condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração e compactação. Além disso, o conhecimento da consistência do solo também permite, através de técnicas específicas, realizar o seu bom manejo e propiciar a sua conservação (SOUZA; RAFULL; VIEIRA, 2000).

O solo pode apresentar-se em três estados quando submetido a um determinado teor de água: a transição do estado sólido para o semissólido, chamado de limite de contração; do semissólido para o plástico, chamado de limite de plasticidade; e por último, do plástico para o líquido, conhecido como limite de liquidez (CAVA, 2018).

Para determinação do limite de liquidez, existem dois métodos conhecidos:

- Cone de queda livre: é utilizado em vários países, e consiste em medir a penetração estática de um cone, com peso, ângulo e tempo de queda específicos em uma amostra de solo preparada.
- Concha de Casagrande: é o método padronizado no Brasil desde 1984 pela NBR 6459 (2016) para realizar o processo de a determinação do limite de liquidez. Figura 1.

Figura 1 – Concha de Casagrande e cinzeis



Fonte – Adaptado Solotec (2019)

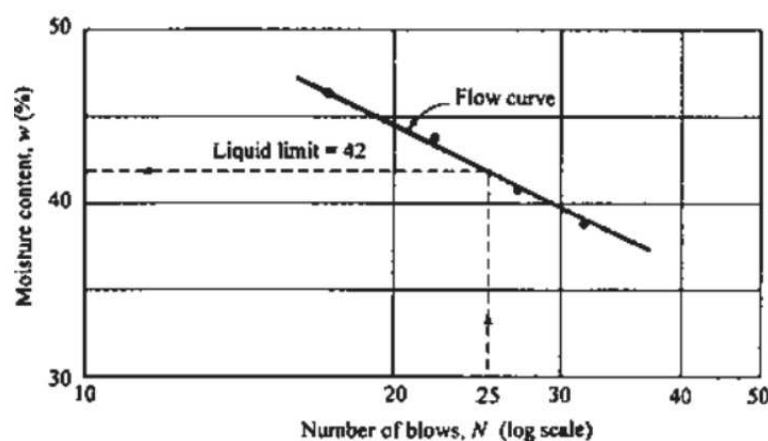
O aparelho Concha de Casagrande é composto de:

1. a) Concha: constituída por um corpo de latão que é utilizado para o armazenamento da amostra de solo.
- b) Manivela: utilizada para o operador movimentar a concha.
- c) Base de Ebonite: composta de borracha natural e resinas sintéticas misturadas ao enxofre, utilizada para produzir o impacto contra a concha quando esta se desprende da altura de 1 cm.
- d) Cinzel para solos argilosos: produzido em aço inoxidável e utilizado para dividir a massa de solo argiloso em duas partes.
- e) Cinzel para solos arenosos: produzido em aço inoxidável e utilizado para dividir a massa de solo arenoso em duas partes.

O ensaio está estruturado em uma sequência de etapas descritas na NBR 6459 (2016), que descreve a preparação do solo, verificação de componentes e o método de ensaio para a determinação do limite de liquidez.

Por fim, para a elaboração do referido ensaio, procede-se da seguinte forma: após certo número de golpes da concha contra a base, os taludes deslizam e se juntam no centro da ranhura aberta inicialmente com o cinzel e o operador através de observação visual determina o momento da parada do movimento, que pela NBR 6459 (2016) é em torno de 0,5 in ou 12,7 mm para interromper o ensaio. Este ensaio é repetido, alterando a unidade da amostra acrescentando de 1 a 3 cm³ água destilada na amostra, até se obter 5 pontos. O registro do teor de água em porcentagem versus o número de batidas, formam os pontos ditos anteriormente, ao final é tracejado uma linha contemplando os pontos, formando a curva de fluxo de umidade, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Curva de Fluxo de Umidade X Número de golpes N



Fonte – Das et al. (2007)

Os dispositivos encontrados atualmente no mercado podem ser manuais ou automáticos, estes possuem um motor elétrico no lugar da manivela e um contador digital e analógico para a contagem de golpes, conforme Figura 3 e Figura 4.

Figura 3 – Aparelho Casagrande elétrico com contador de golpes I-1002-D



Fonte – Contenco (2021)

Figura 4 – Aparelho Casagrande elétrico com contador de golpes completo



Fonte – Fortest (2020)

Como o mercado atualmente não oferece um modelo com a parada automática ao detectar a distância de 12,7 mm, este trabalho tem o intuito de realizar tal feito para contribuir com o setor de engenharia civil, poupando trabalho que o usuário pode dispensar em outra tarefa enquanto o processo é realizado.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é tentar automatizar o processo de parada do motor baseado nos critérios da norma NBR 6459 (2016), efetuando a leitura das distâncias na linha de contato dos taludes, de maneira indireta, coletando ponto a ponto, através de um sensor posicionado acima da concha. Assim, auxiliando o operador no processo para determinação do limite de liquidez.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Programar o sensor *laser* para captar informações acerca do movimento do talude e determinar o movimento de parada da concha, de forma que a margem de erro seja menor que 10%.
- Incrementar o projeto realizado por Prado (2019) que contém a automação do motor e o contador de batidas junto ao novo sensor laser para a leitura da distância da união dos taludes e parada do processo e o módulo alinhador que auxilia o corte que o operador necessita realizar.
- Sincronizar o movimento do motor e do sensor *laser* em 120 Hz, visto que a concha bate duas vezes a cada segundo na base de Ebonite, e as amostras devem ser recolhidas neste intervalo de tempo.

Programar o sensor a laser para captar informações acerca do movimento do talude e determinar o momento de parada da concha.

1.2 JUSTIFICATIVA

Sabendo que o solo é de grande importância na engenharia, em específico para a engenharia civil para a sustentação de obras e fabricação de componentes e derivados do solo como por exemplo tijolos, telhas e cerâmicas, os ensaios para determinação de parâmetros devem ser confiáveis. Quanto menor a interferência do usuário, maior o padrão de repetibilidade.

Segundo Bicalho, Gramelich e Cunha (2014), os valores obtidos com o dispositivo Casagrande sofrem grandes variações quando comparados com ensaios de penetração de cone, principalmente devido às interferências do operador e da concha. O método exige que o operador fique responsável por três tarefas simultâneas:

1. a) Movimentar a manivela em uma velocidade constante de duas voltas por segundo, para que haja o golpe da concha contra a base;
- b) Contar o número de golpes aplicados;
- c) Analisar se a amostra juntou-se na medida de 12,7 mm.

Tais atividades são aparentemente simples, entretanto, caso haja falha em alguma delas, todo o processo deverá ser refeito desde o início, onerando o encargo do operador.

Isto posto, o presente trabalho propõe resolver os problemas decorrentes da interferência humana no método Concha de Casagrande, aperfeiçoado as melhorias no ensaio contribuídas pela egressa Prado (2019), para que haja uma melhor repetibilidade tornando os resultados mais confiáveis, e colocar em prática conhecimentos vistos no decorrer do curso de engenharia eletrônica, podendo prestar serviço a engenharia civil e em especial ao processo de determinação do limite de liquidez.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados procedimentos e métodos da Concha de Casagrande, bem como teorias que serviram de base para a automação do dispositivo objeto de estudo.

2.1 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

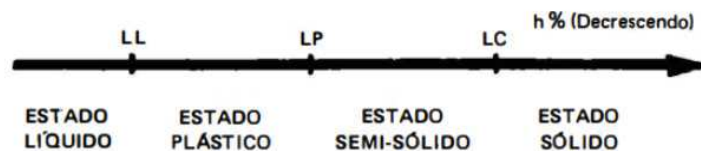
O cientista sueco Albert Atterberg, em 1911, foi o primeiro a desenvolver um método descrevendo os estados de consistência do solo de grãos finos com base no teor de água encontrado na amostra, estabelecendo os limites de liquidez e de plasticidade, denominados limites de Atterberg. Já o limite de contração foi determinado por Haines. (CAPUTO, 1988)

O solo possui três níveis de limite, todos estes estão relacionados com o teor de água encontrado intrinsecamente. Começando do mais fluido para o menos estão a sequência de limites determinados por Atterberg:

1. a) Limite de Liquidez - (LL) - solo se encontra como fluido denso, denomina-se estado líquido. Ao perder umidade, iniciando o endurecimento é chamado limite de liquidez;
- b) Limite de Plasticidade - (LP) - quando o solo perde sua capacidade de fluir tornando-se maleável sendo capaz de conservar sua forma;
- c) Limite de Contração - (LC) - a partir deste ponto o solo começa a ficar quebradiço e perde sua maleabilidade de trabalho, estando no estado semissólido

(CAPUTO, 1988). Vide Figura 5.

Figura 5 – Estados do solo dependentes do teor de umidade



Fonte – Caputo (1988)

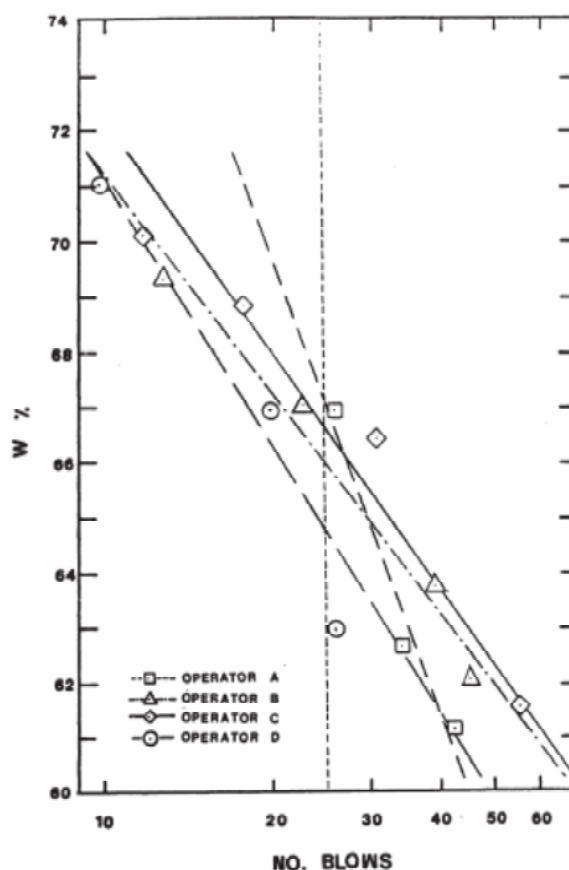
Em 1915 e 1932 foram criados dois dispositivos capazes de determinar o limite de liquidez, respectivamente *fall cone* ou cone de queda livre, por John Olsson, e concha de Casagrande, por Arthur Casagrande. No Brasil, desde 1984 é especificado pela NBR6459:1984 o uso da concha de Casagrande auxilia o processo para determinação do limite de liquidez.

O método do cone apresenta a limitação do equipamento ao solo, ou seja, se o teste for feito com uma amostra muito rígida, há uma certa dificuldade do cone penetrar, preferindo-se assim o método de Casagrande. Por outro lado, tal método diminui notavelmente a interferência do operador nos ensaios, (COUTO et al., 2016).

Além dos autores supracitados, o autor Kestler (1982) também demonstra que o dispositivo Casagrande possui várias barreiras, sendo as seguintes limitações:

- A técnica utilizada pelo operador é tratada como a fonte mais importante na obtenção dos resultados, a variação é ampla quando o teste é realizado em diferentes laboratórios, onde metodologia e técnicas são distintas. Essa variação é visível no decorrer dos testes experimentais de Kestler, conforme a umidade encontrada no solo vai sendo alterada no decorrer do processo, a variação entre os golpes necessários dos quatro operadores visto na Figura 6 vão se atenuando a uma mesma reta.

Figura 6 – Porcentagem de umidade X número de batidas de cada operador

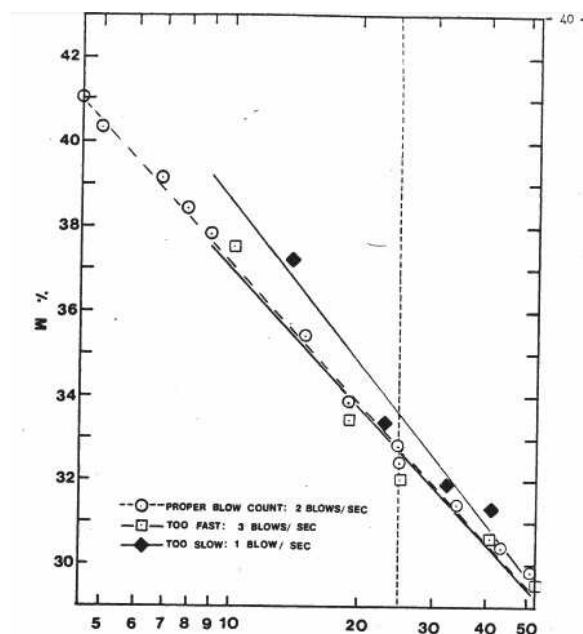


Fonte – Kestler (1982)

- O operador está diretamente envolvido nos resultados obtidos pelas seguintes atividades: a primeira é a abertura do sulco no centro da concha, a segunda é o movimento constante em que a manivela deve ser manuseada, produzindo duas batidas na concha por segundo, pois o limite de liquidez tende a ficar em função da taxa

de impacto. Através de testes mais aprofundados, mostrou-se mínima a diferença entre o número de golpes, porém, esta não deve ser descartada. Na Figura 7 pode-se vislumbrar os valores de limite de liquidez produzidos pelo número de golpes por segundo.

Figura 7 – Limite de liquidez através do número de golpes por segundo



Fonte – Kestler (1982)

- Há dificuldade para determinação do limite de liquidez em solos arenosos, pois é apresentada resistência ao corte da abertura do sulco, fazendo com que o cinzel arraste parte da amostra.
- Existem partes mecânicas no dispositivo, como os cinzéis que realizam a abertura no solo, tal utensílio pode diminuir a plasticidade do solo ao separá-lo.

Para Sousa (2011), o aparelho apresenta algumas sensibilidades no aspecto físico quando se trata das dimensões e formato das ferramentas de abertura do sulco, a dureza, dimensão e ressalto da concha com a base, forma da concha, sulco no interior da concha proveniente da utilização do cinzel para abertura do sulco.

Prado (2019), em seu trabalho de conclusão de curso, desenvolveu um dispositivo automatizado, que possui controle de velocidade do motor, gerando cadência de golpes da concha na base de ebonite, bem como um registrador de golpes em um *display* de sete segmentos e dois botões do tipo *push-button*, um para iniciar e pausar o processo, e outro para reiniciar o contador Figura 8. Desta forma, pode-se amenizar a influência do usuário que precisa apenas cuidar o fechamento dos taludes e pausar o processo.

Figura 8 – Concha de Casagrande automatizado



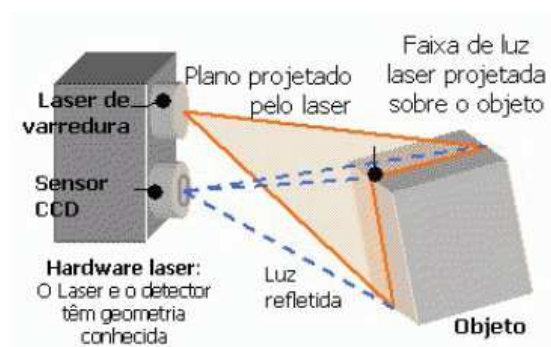
Fonte – Prado (2019)

2.2 VARREDURA COM SENSORES LASER

Segundo Tommaselli (2003) a tecnologia de varredura a laser é dividida em dois tipos principais: os baseados em princípio de triangulação e os de tempo de retorno do sinal. O autor trabalha diversos sensores a laser em seu artigo, considerando que alguns seriam de grande auxílio para a automação da Concha Casagrande, seguem abaixo descritos.

Sensores do tipo triangulação possuem uma fonte emissora de laser e um sensor CCD (*Charge Coupled Device* - Dispositivo Acoplado de Carga) para a captação da luz refletida pelo objeto. A distância entre o emissor laser e o CCD é conhecida e possibilita o cálculo das coordenadas 3D de um objeto por intersecção. O dispositivo depende de elementos geométricos semelhantes, como a relação entre a base e distância. Tal tecnologia é empregada em reconstrução de objetos pequenos em 3D, algumas restrições são impostas pelo fabricante, como a distância e iluminação máxima que o sensor possa atuar. Vide Figura 9.

Figura 9 – Sensor do tipo triangulação



Fonte – Tommaselli (2003)

O grau de precisão desses dispositivos estão na escala submilimétrica. Um modelo

exemplar é o Vivid 910, da fabricante Minolta, o qual tem uma precisão de medida $\pm 0,008$ mm. Referido modelo custa entre 25.000 a 55.000 dólares, dependendo da velocidade de aquisição de dados. Vide Figura 10.

Figura 10 – Sensor Vivid - 910, Minolta - princípio de triangulação



Fonte – Konica Minolta (2015)

Esse tipo de sensor é utilizado em diversas áreas devido a sua alta fidelidade na captação de dados. Alguns exemplos são a área hospitalar - na reconstrução de ossos-, fabricação de peças, rodas, motores, e reconstrução de artefatos.

Por sua vez, sensores do tipo *LiDAR* (*Light Detection And Ranging* - Detecção de variação de luz) são do tipo que medem a distância e os parâmetros de altitude do feixe (azimute e elevação) através da intensidade de energia e a velocidade de retorno do pulso ao sensor, emitindo milhares de pulsos por segundo, normalmente por luz infravermelha, alcançando o objeto e retornando para o receptor acoplado na mesma estação.

Por meio . Com a captação dos pontos, forma-se uma nuvem em torno do objeto, possibilitando a realização da modelagem 3D.

Outro modelo utilizado em indústria é o HPS-LC010, da fabricante Hypersen,(Figura 11), que possui um grau de precisão de uma medida em milímetros $\pm 0,0001$ m, demonstrando alta confiabilidade em processos de medição.

Todavia, um problema enfrentado ao utilizar esse tipo de *scanner*, é a refletância dos materiais presentes na cena, ou seja, se o sinal não for refletido adequadamente, não é possível calcular as coordenadas do ponto.

Uma característica destacada por Tommaselli (2003) sobre o LiDAR em relação aos sensor por triangulação, é a precisão que este mantém mesmo aumentando a distância do objeto em relação ao sensor, uma vez que o tempo de retorno não é influenciado significativamente pela distância.

Figura 11 – HPS-LC010 - princípio de detecção de variação de luz



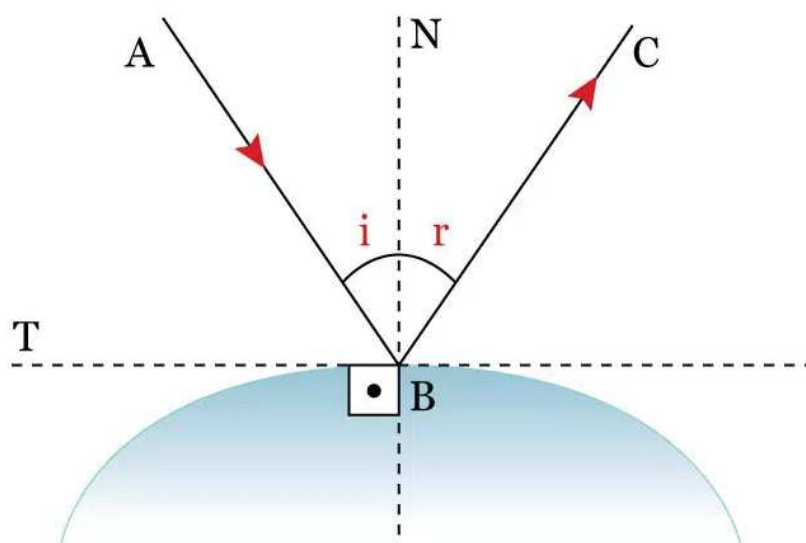
Fonte – HYPERSEN TECHNOLOGIES CO. LTDA

2.3 REFLEXÃO DA LUZ

A reflexão da luz é o fenômeno que acontece quando uma onda de luz toca uma superfície e muda sua direção e/ou sentido de propagação (MENDES, 2019).

Ainda segundo a autora, a reflexão da luz possui duas leis, estas empíricas, resultados de inúmeras observações do fenômeno visto na Figura 12:

Figura 12 – Esquema de reflexão



Fonte – Mendes (2019)

Onde:

N - reta normal à superfície no ponto B;

i - ângulo de incidência, formado entre o raio incidente e a reta normal;

AB - raio de luz incidente;

BC - raio de luz refletido;

r - ângulo refletido, formado entre o raio refletido e a reta normal.

- Primeira lei:

O ângulo de incidência (i) que o raio incidente forma com a normal (linha pontilhada, que forma ângulo de 90° com a superfície do espelho) é igual ao ângulo de reflexão (r) que o raio refletido forma com a normal. Mendes (2019)

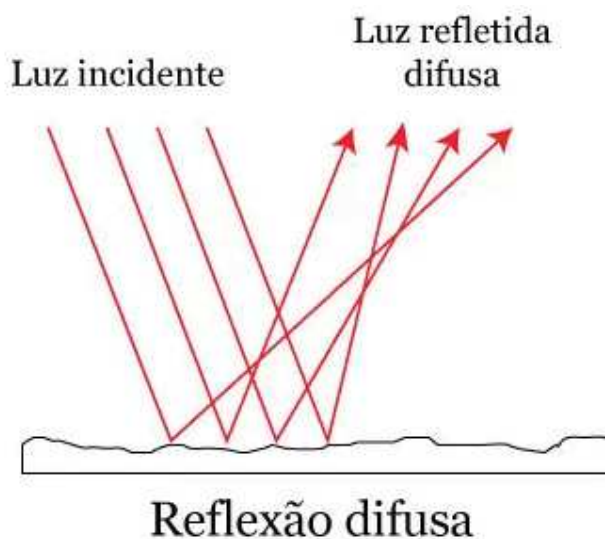
- Segunda lei:

O desvio (d) na reflexão da luz é definido como sendo o ângulo "d" entre o prolongamento do raio incidente e o raio refletido. A quantidade de energia refletida, quando comparada à energia incidente, depende de uma série de fatores, como a natureza da superfície e a direção da incidência, por exemplo. A reflexão da luz pode ser classificada em dois tipos: especular (ou regular) e difusa. (MENDES, 2019, p. 1)

A reflexão difusa ocorre quando a luz é incidida sob uma superfície não polida e rugosa, se espalhando por todas as direções.

Dessa forma, superfícies que possuem estas características, como madeira e paredes irregulares, são capazes de refletir a luz, porém não reproduzem imagens. Vide Figura 13:

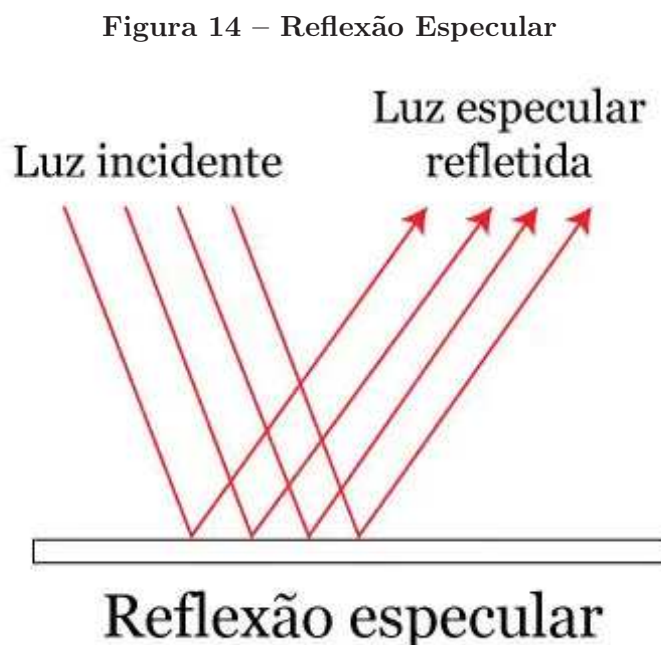
Figura 13 – Reflexão difusa



Fonte – Mendes (2019)

O segundo tipo de reflexão é a especular, onde a luz encontra uma superfície polida e lisa, assim, os raios são refletidos regularmente e paralelos entre si.

Nesse sentido, objetos que possuem tal característica refletem imagem e a luz, como é o caso do espelho. Figura 14:



Fonte – Mendes (2019)

2.4 MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO

Para que haja um controle por largura de pulso em motores, é utilizada a técnica PWM (*Pulse Width Modulation*) capaz de controlar a tensão e corrente fornecida ao equipamento elétrico. (REIS, 2017).

Conforme citado por Reis (2017) o funcionamento de um *PWM* consiste em modular sua razão cíclica ou *duty cycle* (δ), proporção de tempo com fornecimento de energia em relação ao período total, através de uma fonte de tensão que envia sinais de mesmo período T , variando a sua largura de pulso. Figura 15.

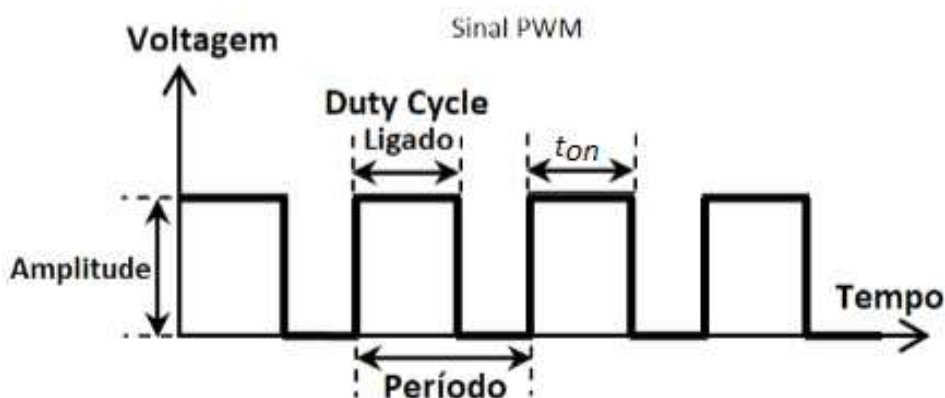
Quanto maior o tempo de t_{on} maior a quantidade de corrente fornecida.

.

O ciclo de trabalho pode ser descrito conforme:

$$\delta = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.1)$$

Figura 15 – Sinal PWM - Tensão x Tempo



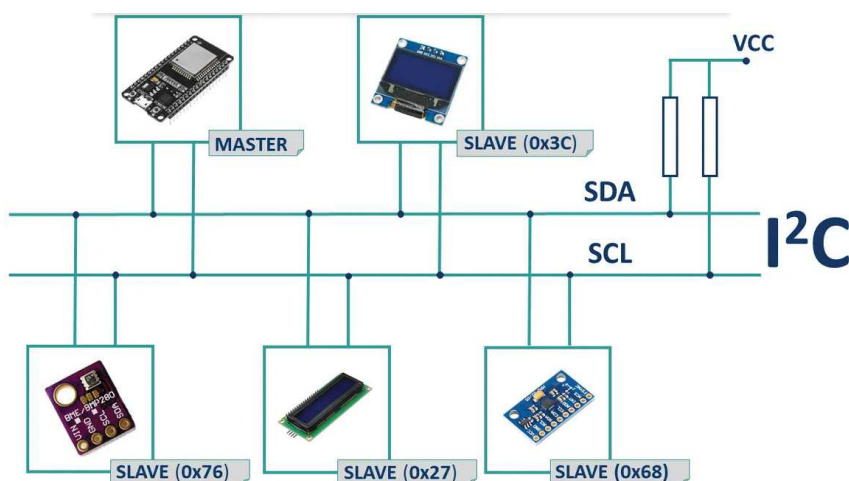
Fonte – Adaptado de Squids (2020)

2.5 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO I^2C

O protocolo de comunicação I^2C foi criado pela empresa holandesa Philips em meados de 1996, atualmente, é amplamente difundido e interconecta uma diversa gama de dispositivos eletrônicos, tal feito é proporcionado pelo endereçamento único de cada dispositivo no barramento, independente de sua natureza.

O funcionamento do protocolo é feito por meio da comunicação serial através de dois fios, sendo eles o SDA e SCL, sendo *Serial Data* e *Serial Clock* respectivamente, ambos bidirecionais, possibilitando transmissão ou recepção através do barramento. Vide Figura 16

Figura 16 – Barramento de comunicação I^2C



Fonte – RANDOM NERD TUTORIALS

Terminologia I^2C :

- Transmissor - dispositivo que transmite dados através do barramento;

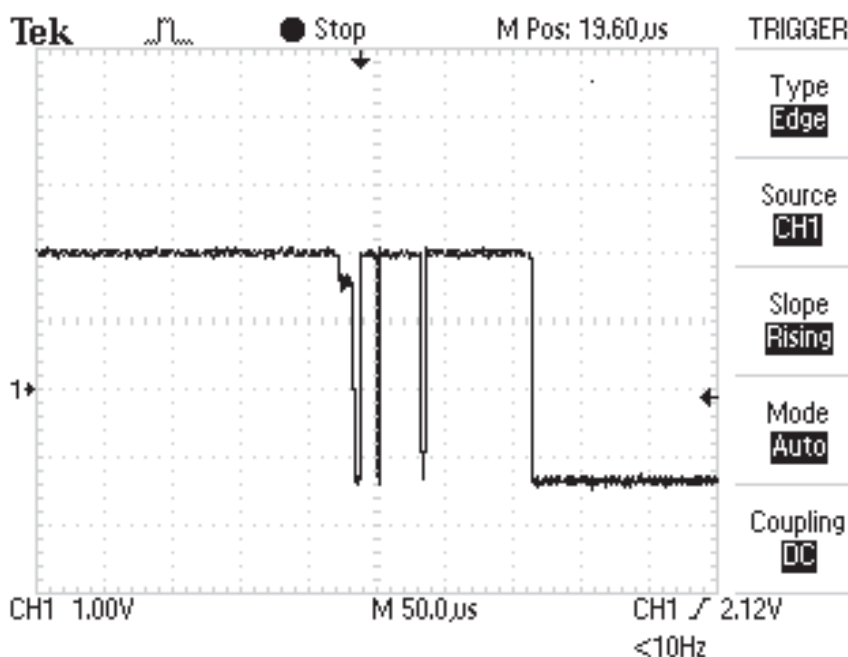
- Receptor - dispositivo que recebe dados através do barramento;
- *Master* - dispositivo responsável por iniciar a comunicação, gerar sinal de *clock* e encerrar a comunicação;
- *Slave* - dispositivo conectado ao barramento de comunicação;

A comunicação ocorre quando o *master* envia um sinal de condição de inicialização combinando o sinal de SDA e SCL seguido de 7 *bits* de endereçamento e um oitavo *bit* RW(*read/write*), o dispositivo *slave* envia o sinal de reconhecimento. A comunicação finaliza quando o dispositivo *master* envia um sinal de condição de parada através da combinação do sinal de SDA e SCL.

2.6 DEBOUNCE EM BOTÃO

Botões ou chaves possuem contatos mecânicos, que, por sua vez, geram ruídos aleatórios chamados de *spikes*, fazendo com que a tensão oscile entre sinal alto e baixo antes que estabeleça de fato seu estado, esse efeito é conhecido como *bounce*. Vide Figura 17.ESGC (2017)

Figura 17 – Efeito *bounce* em botão



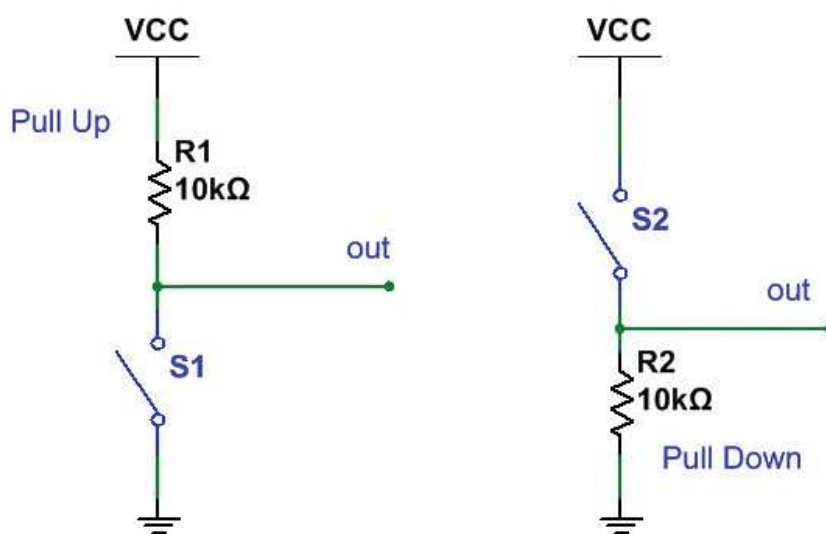
Fonte – Silva (2019)

Efeito este causado pela construção do componente, uma vez que as partes móveis de contato do botão podem não estarem planas ou alinhadas, esta questão nos leva a um problema momentâneo em intervalos de microssegundos, onde podem ocorrer pequenas vibrações ocasionando toques múltiplos entre as placas. Tal efeito pode passar

despercebido para nós humanos, mas para o microprocessador que verifica milhares de vezes por segundo, é como se o botão estivesse ligando e desligando. (SILVA, 2019)

Para eliminar este efeito são utilizados métodos físicos e *softwares*, forçando o botão assumir o seu verdadeiro estado sem oscilações. Para suprimir o efeito pelo meio físico, são utilizados duas formas: o *pullup* e o *pulldown*, tendo a função de sempre deixar o botão em um estado, seja ele em nível lógico alto ou nível lógico baixo. Vide Figura 18

Figura 18 – Método *pull up* e *pull down*



Fonte – ELETRONWORLD

onde:

S1 - botão 1;

S2 - botão 2;

VCC - tensão em corrente contínua;

R1 - resistor 1;

R2 - resistor 2;

O modo *pull up* deixa o botão normalmente em nível lógico alto, e quando acionado altera seu sinal para nível lógico baixo, já o modo *pull down* ocorre de maneira inversa, estando inicialmente em nível lógico baixo e altera para alto quando o botão é pressionado.

2.7 REGULADOR DE TENSÃO

Reguladores de tensão são conhecidos por manterem automaticamente níveis de tensão constante em circuitos, de forma a possibilitar maiores tensões de entrada e menores na saída.

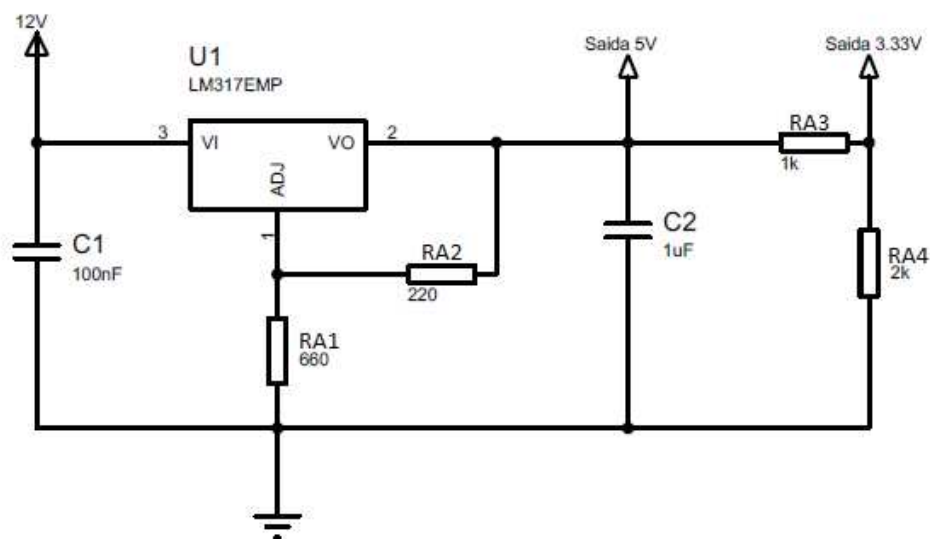
Quando apresentados na forma de CI ocupam o mínimo de espaço e demonstram grande funcionalidade, de forma a alimentar vários tipos de circuitos sem a necessidade de módulos ou reguladores maiores.

Para realização do controle de tensão no regulador LM317 é necessário que sejam feitas as seguintes considerações no esquema elétrico: a) Primeiramente a tensão de entrada V_{in} deve ter tensão superior a de saída, mas não deve ser tão elevada a ponto de sobreaquecer o sistema, o capacitor da saída deve ser dez vezes maior que o da entrada.

Para que o regulador LM317 não sobreaqueça e perca suas propriedades físicas, é necessário a fixação de um dissipador de calor no mesmo.

Nesse sentido, a tensão de saída V_{out} dada pelo arranjo de resistores e capacitores no circuito é apresentado na Figura 19 e na equação abaixo, onde pode ser visto tanto a saída regulada em 5V quanto em 3,33V.

Figura 19 – Circuito regulador de tensão



Fonte – Autoria própria

$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R1}{R2} \right), \quad (2.2)$$

Onde:

C1 é o capacitor da entrada de tensão;

C2 é o capacitor da saída de tensão;

RA1 é o resistor de ajuste 1;

RA2 é o resistor de ajuste 2; RA3 é o resistor de ajuste 3;

RA4 é o resistor de ajuste 4.

2.8 DESVIO PADRÃO

Para a autora Martins(2013) o desvio padrão é:

O desvio padrão de uma amostra de dados quantitativos, é uma medida de dispersão encontrado a partir da raiz quadrada da variação de amostras, que por sua vez obtém as amostras pela equação de média.

$$M = \frac{\sum_{n=1}^N x_n}{n}, \quad (2.3)$$

$$V = \frac{\sum_{n=1}^N (x_n - M)^2}{n - 1} \quad (2.4)$$

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - s)^2}{n - 1}} \quad (2.5)$$

Onde:

M : média do valor entre amostras

V : variação encontrada dentro do grupo de amostras;

D : dispersão dos dados em relação ao valor médio;

x : é o valor amostral do dado em questão;

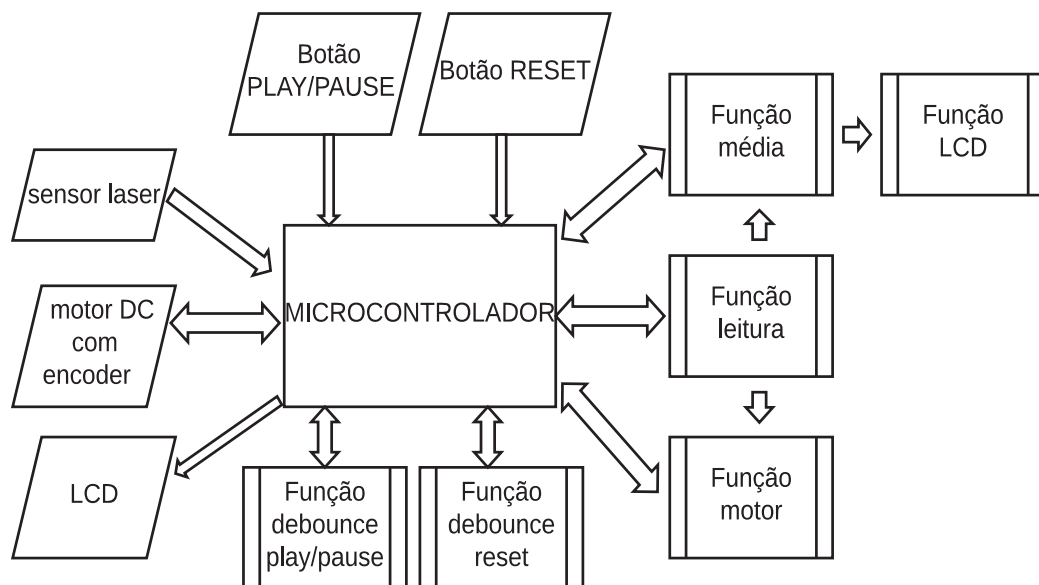
n : quantia de amostras analisadas

Ainda segundo a autora, o desvio padrão só deve assumir valores positivos, e quanto maior o seu valor, maior a dispersão de dados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais e a metodologia a ser empregada, necessários para o desenvolvimento do projeto. Esse deve contar com um sensor para fazer a varredura das distâncias da extensão dos taludes e sincronizar esta leitura com um motor DC com enconderv já empregado por Prado (2019), que possui um movimento constante de velocidade para dispensar golpes da concha contra a base de ebonite. Ao final deve realizar a parada do motor e mostrar a quantia de golpes efetuados pela concha. Abaixo na Figura 20 pode ser visto as principais funções e componentes empregados no dispositivo.

Figura 20 – Diagrama de blocos com as principais funções e componentes



Fonte – Autoria própria

3.1 MATERIAIS

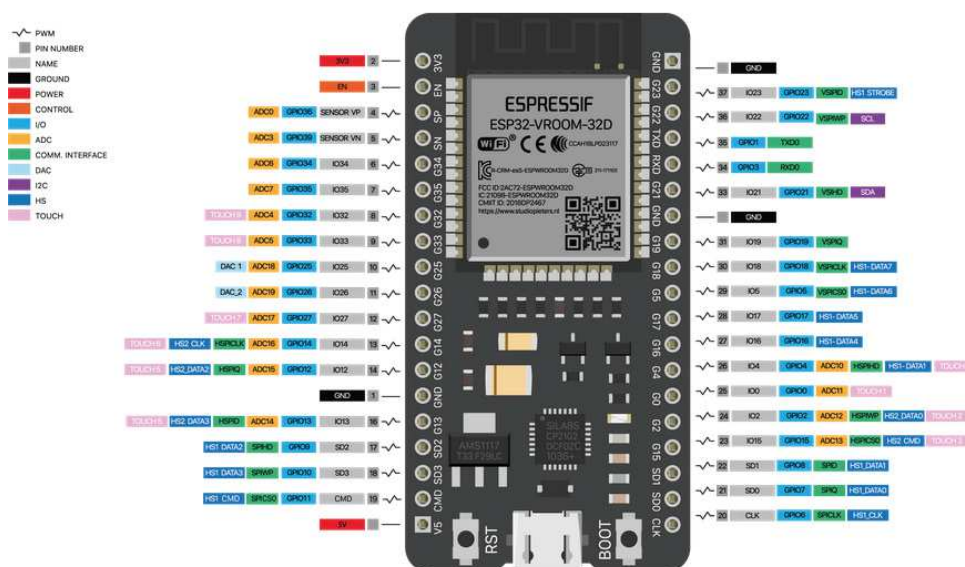
Nesta seção serão vistos os componentes utilizados para realização do processo, suas principais características construtivas e funções no sistema.

3.1.1 MICROCONTROLADOR ESP-32

Inicialmente, o projeto de Prado (2019) empregou a placa Arduino NANO, o qual possui o microcontrolador ATmega328, 14 entradas e saídas digitais, onde 6 destas podem ser utilizadas como PWM e 8 entradas analógicas com 10 bits de resolução. Tal microcontrolador realizava as tarefas propostas e possuía expansão para possíveis periféricos futuros, sem embargo o novo projeto necessitava de um microcontrolador com

dois núcleos para realizar as tarefas em paralelo. Assim, foi escolhido o módulo ESP32 da família NodeMCU, que é composto por processador Xtensa Dual core de 32 bits, 50 kbytes de RAM e 448 kbytes de ROM, 16 entradas e saídas, onde as 16 possuem função PWM, 11 possuem função conversor analógico-digital com resolução de 12 bits, 8 portas com conversor digital-analógico, comunicação I^2C , além de possuir *wifi* e *bluetooth*, caso queira realizar um projeto remoto. Comparando os dois modelos, é visto que o ESP32 possui tanto um processamento com maior capacidade, como maior número de funções, por se tratar de um microcontrolador mais moderno.

Figura 21 – ESP-WROOM-32



Fonte – Curvello (2018)

Tal item deve ser responsável por gerenciar as funções que realizam a leitura de distância dos taludes, através de um sensor laser, o controle de velocidade dos golpes dispensados através de uma concha controlada por um motor DC com encoder, e internamente realizar cálculos para verificar a quantidade de solo que se juntou ao longo do processo, acumulando pontos em um de seus registradores. Findando ao travar o movimento do motor e mostrando para o operador o número de golpes efetuados pelo dispositivo de Casagrande.

3.1.2 MOTOR DC 6V COM ENCODER

O motor DC com encoder utilizado no projeto de Prado (2019), que controla a cadência da concha, possuindo uma tensão máxima de 6V, 210 RPM, torque máximo de 0,2941995 N.m e diâmetro de eixo de 4 mm visto na Figura 22, possuindo um encoder com 516 marcações, que, a cada volta dada pelo eixo, são acrescentados 516 pulsos pelo encoder.

O encoder utilizado tem seis saídas, três relativas ao motor e três relativas ao encoder como pode ser observado na Figura 23. Tal componente é responsável por enviar pulsos para o microcontrolador através de interrupção externa, auxiliando na cadência

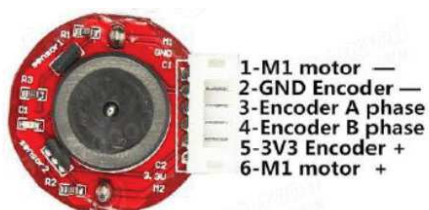
da velocidade do motor, através de um controle PID incrementado pela egressa Prado (2019).

Figura 22 – Motor DC 6 V com Encoder



Fonte – FILIPEFLOP (2020)

Figura 23 – Vista frontal do Encoder

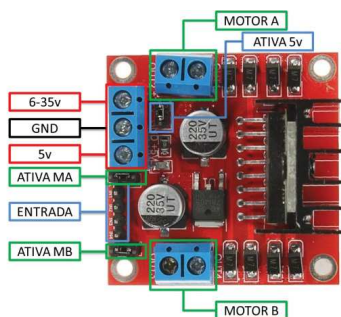


Fonte – Prado (2019)

3.1.3 PONTE H L29N

Componente formado por quatro transistores bipolares, com formato semelhante a um "H". O circuito é responsável por receber um sinal elétrico, neste projeto no formato PWM, e amplificá-lo antes de enviar para o motor DC, possibilitando trabalhar que o sinal de 3,3V derivado da saída do microcontrolador seja aumentada para 6V podendo assim usufruir do máximo torque e rotação do motor. Vide Figura 24.

Figura 24 – Ponte H L29N



Fonte – Thomsen (2013)

3.1.4 DISPLAY LCD COM COMUNICAÇÃO I²C INTEGRADA

Componente composto por um display *LCD* de 16 linhas e 2 colunas e módulo de comunicação *I²C*, utilizando apenas os pinos *SDA* e *SCL* facilitando a comunicação e economia de espaço nos pinos do microcontrolador. É destinado à mostrar em sua tela o número de golpes efetuados pela concha na base, computando o valor de voltas ao final do processo. Vide Figura 25.

Figura 25 – *Display LCD com comunicação I²C integrada*



Fonte – Autocore robótica(2021)

3.1.5 BOTÃO *Push – button*

O projeto necessita de uma interação humana para iniciar o processo, os dois botões do modelo DS-323 com contato normalmente aberto, são intitulados neste projeto como PLAY/PAUSE e RESET para iniciar e pausar o sistema, quanto reiniciar o número de golpes computados. São conectados aos pinos analógicos do microprocessador através de dois circuitos *pullup*. Em serie com cada botão é conectado um resistor de 1k ω ligados ao terra. Tais resistores tem a função de realizarem o *debounce* e proteger o sistema contra sobre corrente.

Figura 26 – Chave Botão- DS-323 Push Button NA



Fonte – eletronic (2021)

3.1.6 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

O sistema do ESP-32 pode ser alimentado em uma tensão de 3,3 V em corrente contínua. Assim, para atender esse requisito, é necessário um rebaixador de tensão, uma vez que a tensão das tomadas normalmente utilizadas é de 127 V - 220 V em corrente alternada. Portanto, a fonte de alimentação com entrada *bivolt* e saída 12 V de corrente contínua de 2 A foi escolhido para suprir a alimentação do sistema. O qual possui um consumo médio de 4,5112 W. Vide Figura 27.

Figura 27 – Fonte de alimentação

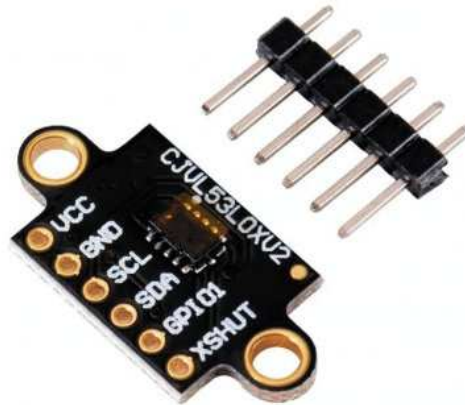


Fonte – Lelis Quase Tudo (2020)

3.1.7 SENSOR *laser* VL53L0X

É um módulo eletrônico de alta precisão, se comparado a outros modelos encontrados no mercado, podendo medir distâncias de 3 mm a 1000 mm, com uma margem de erro de 3 % segundo o *datasheet* fornecido pelo fabricante. Sensor do tipo LiDAR, possui duas aberturas, sendo uma o emissor de 35° e a segunda o receptor com uma abertura de 25°. O seu funcionamento segue o princípio básico de sensores laser do tipo LiDAR, emitindo milhares de pulsos infravermelho com comprimento de onda de 940 nm através do emissor, calculando a distância e energia do pulso ao retornar para o receptor, podendo assim estimar a localização do objeto onde houve a colisão de tal ponto.

O sensor possui quatro modos de operação, sendo o modo de fabrica, precisão, maior alcance e maior velocidade, cada um dos modos tem seu tempo de captura dos pontos, sendo o menor tempo de 20 ms no modo de maior velocidade, e o maior tempo de 200 ms sendo o modo de maior precisão. Para o projeto foi utilizado o modo de maior precisão, tendo uma precisão de aproximadamente 3%. Vide Figura 28.

Figura 28 – Sensor *laser* VL53L0X

Fonte – Mercado Livre (2020)

3.1.8 MÓDULO *laser* DE ALINHAMENTO EM CRUZ

Componente com laser em formato de cruz com comprimento de onda de 650 nm, com potência de saída de 5 mW com corpo em metal e revestido na parte frontal por vidro. Sua tensão de funcionamento fica entre 3 a 5 V.

Figura 29 – Módulo Laser de alinhamento em cruz



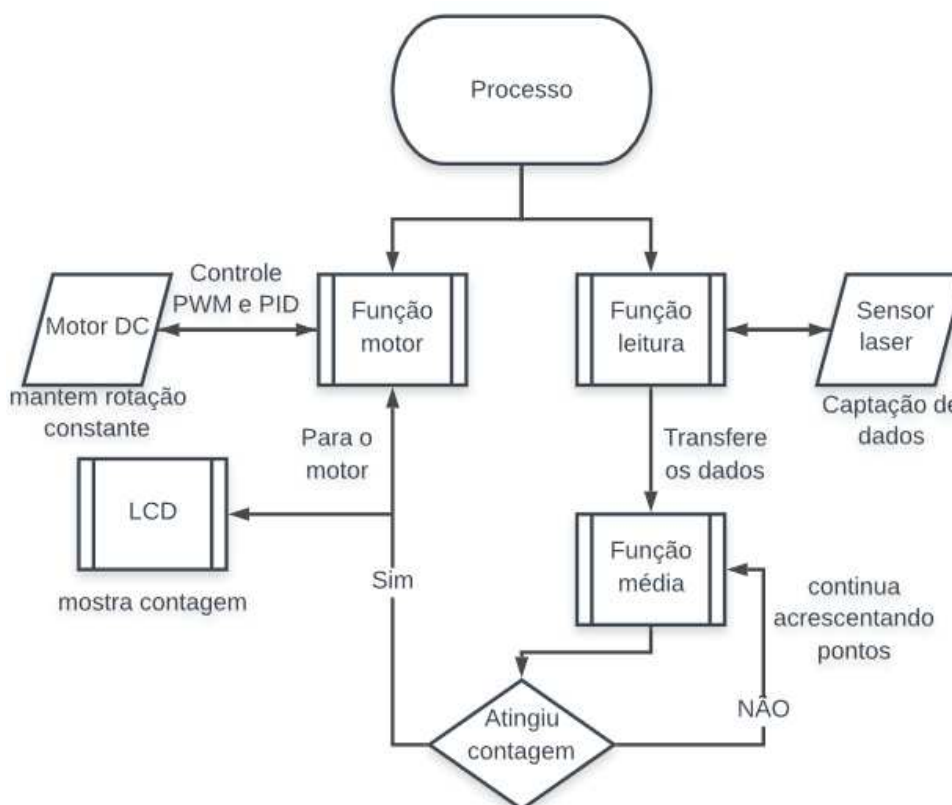
Fonte – Mercado Livre (2020)

Módulo a laser utilizado para demarcar objetos ou lugares em diversas áreas. Para o projeto, este dispositivo servirá para demarcar a concha e assim servir de referência para o operador efetuar a ranhura. Vide Figura 29.

3.2 MÉTODO

Para que o processo fosse realizado, o programa seguiu um fluxograma como visto na Figura 30, estando as funções principais descritas abaixo.

Figura 30 – Fluxograma dos principais processos do programa



Fonte – Autoria própria

O processo se inicia ao apertar o botão *play/pause* que aciona o microprocessador, dentro do programa é acionado a função DEBOUNCE PLAY/PAUSE que faz o processo de *debounce* no botão, sequencialmente manda um pulso para a função responsável pelo acionamento do motor e do sensor *laser*. Abaixo podem ser vistas as funções mais importantes do programa.

- Função MOTOR - quando exigida, aciona a função que possui um controle PWM, responsável por enviar o sinal para o pino que aciona a ponte H, que por sua vez amplifica a tensão de 3,3 V para 6V e envia para o motor que gira constantemente 1,5 voltas por segundos.
- Função LEITURA - quando chamada pelas portas SDA e SCL aciona o sensor laser, essa função é responsável por alimentar durante uma volta do motor, vinte valores que são analisados em tempo real, um a um pela função MEDIA.

Essas duas funções ocorrem simultaneamente e em paralelo, o movimento cessa quando o botão *play/pause* é acionado novamente, o número de voltas máximas é atingido, ou o registrador CONT acumula o valor estipulado para uma medida de 13 mm, calculado na função MEDIA.

Na função MEDIA, primeiramente é preenchida as duas linhas da matriz para que a função tenha um referencial de onde começar, seguidamente os dados do primeiro vetor são comparados com os dados do segundo vetor, sendo o primeiro vetor DADOS[0][i] os valores atuais e o segundo DADOS[1][i] os valores da volta passada. Após comparação desses dados o primeiro vetor transfere os valores para o segundo vetor. Para realizar os cálculos de verificação da diferença dos pontos, foram pegos como referencia as equações vistas na seção 2.8, afim de diminuir o erro do próprio sensor.

Embasado nos dados obtidos em teste de distância com uma superfície plana metálica, foi criado um valor de desvio padrão de 1,605 a partir de mil amostras. Quando o valor analisado ultrapassa o valor estipulado de 1,605 é acrescentado 1 ao registrador CONT. Quando o registrador atinge o valor máximo estipulado o processo todo para e a quantia de voltas é mostrada na tela LCD.

Para realizar as tarefas simultâneas, o freeRTOS foi utilizado, auxiliando no código destinando o número de memória, o núcleo responsável dentre os dois disponibilizados pelo ESP32, e a prioridade que cada uma das funções teria perante o código como um todo.

Quadro 1 – Código exemplo utilizado para criar funções

1	<code>\xTaskCreatePinnedToCore(LEITURA, "LEITURA", 10000, NULL, 3, NULL, CoreZero);</code>
2	<code>\delay(500); //tempo para a tarefa iniciar</code>
3	<code>\xTaskCreatePinnedToCore(motor_ON, "motor_ON", 10000, NULL, 3, NULL, CoreOne);</code>
4	<code>\delay(500); //tempo para a tarefa iniciar</code>

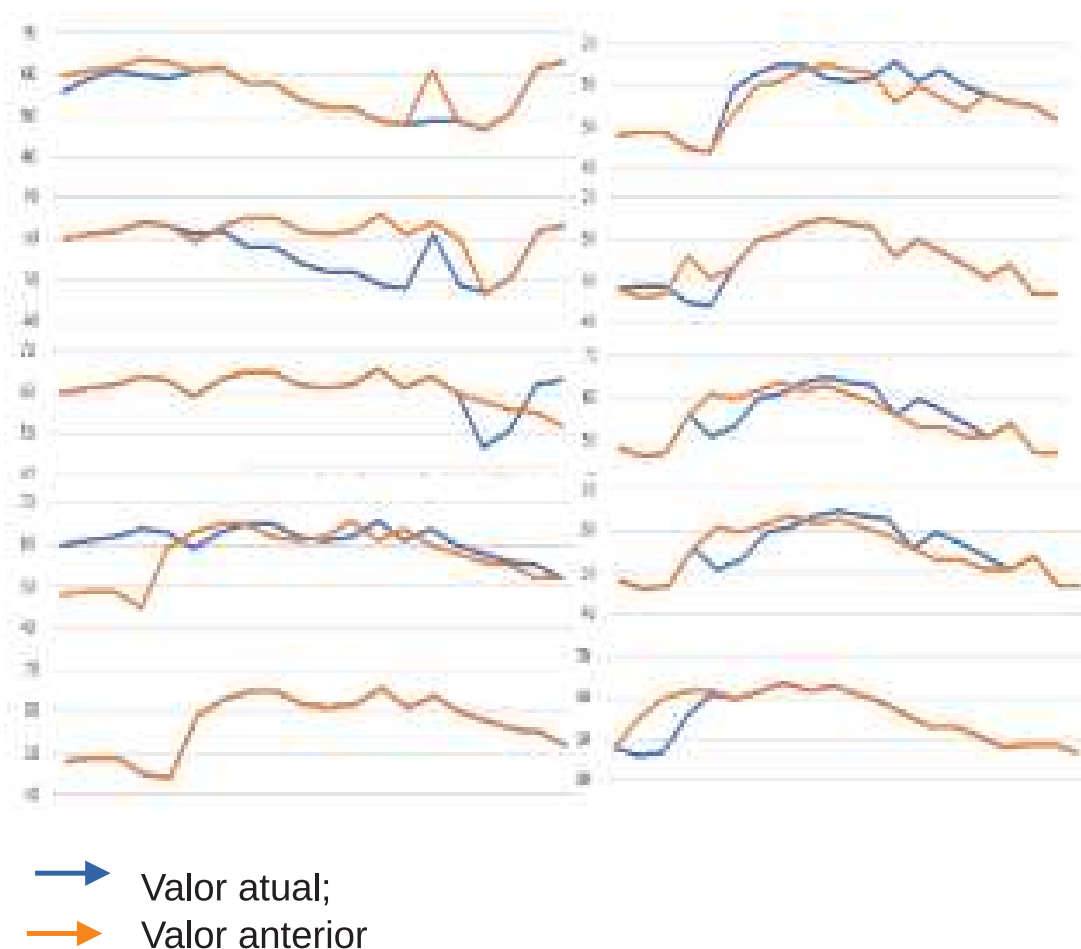
Fonte – Autoria própria

Observando o Quadro 1, pode ser visto como cada função é criada. Para exemplificação a primeira linha contendo a função LEITURA será esmiuçada. Primeiramente é colocado o nome que será dado a função, no caso em exemplo, LEITURA, sequencialmente o nome dado a função caso queira realizar um *debug* no código, em seguida a quantia de memória que tal função poderá requisitar do microcontrolador para realizar sua tarefa, em terceiro os valores passados para a tarefa, quando é requisitado, neste caso sendo "NULL", ou seja, vazio, na quarta posição a prioridade que a tarefa possui perante o código, por outras palavras, ela terá prioridade na chamada pelo código, sempre que estiver livre para ser utilizada, o quinto parâmetro é utilizado quando é necessário utilizar a tarefa fora do "TaskCreate", neste caso, o parâmetro fica nulo e por último, a posição do núcleo em que a tarefa ficará alocada.

Quando se trabalha com paralelismo e simultaneidade, muitas das vezes um mesmo recurso podem estar sendo utilizado por uma tarefa e requisitado por outra, tal situação pode acarretar em travamento da função. Para que isso não ocorra, são criados os semáforos, responsáveis por sincronizar as tarefas pegando e entregando recursos necessários, dentro do tempo estipulado para realizar uma determinada tarefa, ao terminar o tempo de operação da função, ela perde sua prioridade em relação as outras e fica bloqueada até que o tempo que o semáforo impôs não seja atingido.

Para realizar a varredura da concha, inicialmente foi proposto que o sensor laser ficasse acoplado a um servo motor, o qual se movimentaria em um ângulo de 30° , podendo capturar uma extensão da concha maior. Foi realizado um teste para verificar a precisão que o sistema estava apresentando, tal teste foi realizado acumulando 10 voltas do motor ao decorrer do processo, acumulando 20 valores capturados na extensão da concha onde é realizada a ranhura, na Figura 31 abaixo pode ser observado a diferença entre os pontos da volta atual com os pontos da volta passada.

Figura 31 – Teste de precisão do sensor laser acoplado ao servo motor

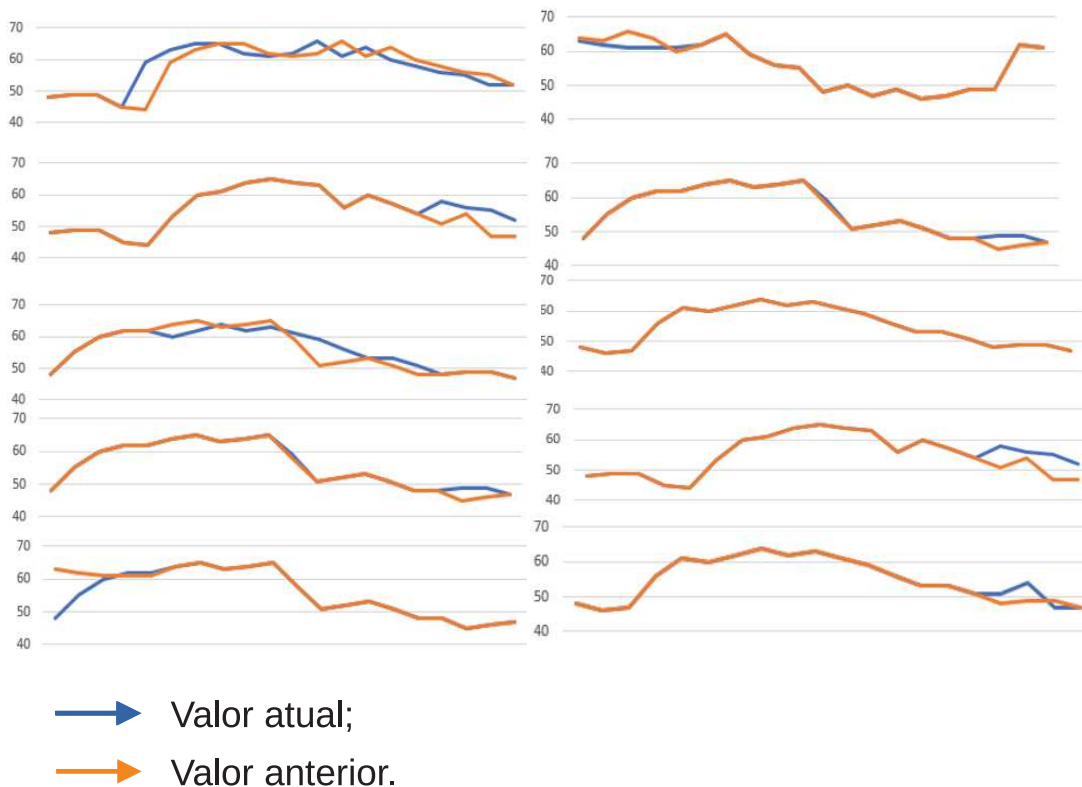


Fonte – Autoria própria

Um novo teste foi realizado, tendo o mesmo número de voltas quanto de amostras de

distância ao decorrer da volta, agora apenas com o sensor posicionado fixamente em uma posição acima da concha a uma distância de 65 mm. Vide Figura 32.

Figura 32 – Teste de precisão com sensor laser fixado acima da concha



Fonte – A autoria própria

Concluído os dois testes, nota-se que o servo motor produz um desvio nos valores das distâncias maior do que quando o sistema está apenas com o sensor laser fixado acima da concha. Tais variações são devidas às vibrações do movimento que o servo motor produz ao deslocar-se no próprio eixo e a dessincronização do servo motor com o motor DC, que ao decorrer do processo vão se defasando um do outro.

3.2.1 TESTE DE DISTÂNCIA

Com a finalidade de verificar a precisão do sensor especificada pelo fabricante sendo 4%, foram realizados alguns testes de distância. Primeiramente foi fixado o sensor em uma madeira, e demarcadas posições com o paquímetro, tendo os valores em 30 mm, 50 mm, 80 mm, 100 mm e 130 mm, cada uma das distâncias medidas através do sensor tiveram 1000 amostras recolhidas e computadas, ao final se conforme o teste era executado. Vide Figura 33.

Foram realizados testes em cinco distâncias diferentes, aferindo a precisão do sensor, cada verificação contou com mil valores, tal quantidade foi definida para aproximar ao máximo do valor real estipulado com auxílio do paquímetro.

Figura 33 – Material metálico utilizado para testes de distância e reflexão

Fonte – Autoria própria

Tabela 1 – Resultado do teste de distância

Valor paquímetro	valor medido	Erro(%)
130 mm	135,197 mm	3,997
100 mm	99,844 mm	0,156
80 mm	80,363 mm	0,454
50 mm	58,73 mm	17,460
30 mm	38,29 mm	27,633

Fonte – Autoria própria

Analisando a Tabela 2, é possível visualizar que os valores que tiveram menor variação ocorrem entre 100 mm e 80 mm, dessa maneira, o melhor posicionamento do sensor em relação a concha encontra-se dentro das medidas previstas.

3.2.2 TESTE DE REFLEXÃO

Como citado na seção 2.3, a reflexão difusa ocorre em materiais não polidos, causando divergência no raio de luz emitido, fazendo com que alguns destes se percam em outras direções. Embasado neste conceito, realizou-se testes padrões de quarenta vezes coletando vinte amostras de distância em três materiais

- Teste 1 - Material de superfície plana metálico fixado a 110 mm do sensor;
- Teste 2 - Material de superfície plana em madeira fixado a 110 mm do sensor;
- Teste 3 - Concha de Casagrande fixada a 60 mm do sensor.

Da análise da tabela, observa-se que o material metálico concentrou seus resultados mais próximos da medida real, enquanto a madeira, que tem uma rugosidade maior que

Tabela 2 – Resultado dos teste de reflexão

Valor paquímetro	Valor medido	Erro (%)
110 mm	111,1 mm	1,0
110 mm	116,7 mm	6,1
60 mm	58,35 mm	2,8

Fonte – Autoria própria

a do metal, exibiu resultados mais distantes do fixado para o teste. Tendo a concha como análise, mesmo fixada a uma única distância de 60 mm, mostra-se que a rugosidade criada pelo desgaste da concha oscila os valores medidos, demonstrando uma discrepância de aproximadamente 2 mm do real.

3.2.3 TESTE EM SOLO

Com o objetivo de determinar se o método automatizado estava parando quando os taludes alcançavam o comprimento de aproximadamente 13 mm, foram feitos testes comparando o método manual e o automatizado. Primeiramente o solo foi preparado, em seguida foram depositadas amostras de solo nas duas conchas e abertas as ranhuras no seu centro, da forma abaixo exposta.

A preparação do solo seguiu a NBR 6459, a qual leciona que o método consiste em utilizar 70g do material passado na peneira (0,425mm), após, envolve-o em uma cápsula acrescido de 15 a 20 cm³ de água destilada, misturando-a até resultar em uma massa plástica. Ainda, transfere-se a massa plástica para a concha do aparelho, moldando-a para que apresente uma espessura de aproximadamente 1 cm. Por fim, com a ajuda do cinzel, a massa é dividida em duas partes, expondo uma ranhura no centro, perpendicular à articulação da concha (NBR 6459. 2016, p. 12).

Em continuação, realizaram-se os teste manual e automático em simultaneidade. O teste manual utilizou duas batidas por segundo, enquanto o automático em 1,5 batidas por segundo. O operador do manual observou a ranhura se fechando para encerrar o processo quando esta alcançou aproximadamente 12,7 mm. O automático, por sua vez, captava 20 pontos por volta, comparando-os os entre a volta anterior e a atual. A cada divergência entre os pontos, estes eram somados, acumulando os pontos divergentes ao número final da somatória.

Ao final de três ciclos de testes, quando a ranhura do solo alcançava os aproximadamente 12,7 mm necessários, obteve-se os seguintes resultados: 1) quando o manual atingiu 24 voltas, o automatizado alcançou 17 voltas, divergindo 7 voltas; 2) quando o manual atingiu 42 voltas, o automatizado alcançou 34 voltas, divergindo 8 voltas, e; 3) quando o manual atingiu 27 voltas, o automatizado alcançou 30 voltas, divergindo 3 voltas. Os resultados podem ser tabelados da seguinte forma:

Tabela 3 – Resultado dos teste em solo

Teste	Manual	Automatizado	Diferença
1	24	17	7
2	42	34	8
3	27	30	3

Fonte – Aatoria própria

Isto posto, foi possível observar que os métodos (manual e automatizado) apresentam divergências de resultado entre si próprios, por exemplo o manual, que, do primeiro para o segundo teste, necessitou de quase o dobro de voltas para alcançar o mesmo resultado (12,7 mm de ranhura do solo).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nesta seção, serão expostas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho, apresentando problemas desde a parte construtiva das conchas, encontradas no laboratório de ensaio de solos, até a parte de sincronização e desvios de medidas, na parte de sensoria-mento do dispositivo encarregado pela pausa do processo.

4.1 PARTES MECÂNICAS

Em vista que o aparelho é totalmente mecânico, e é utilizado semestralmente por diversos usuários, nota-se o desgaste natural de algumas peças, como, por exemplo, a concha, que é riscada pelo cinzel em todo processo de abertura do solo, e o eixo central da manivela, responsável pelo movimento da concha.

Para a automação do motor utilizou-se um eixo de acoplamento em aço com as especificações demonstradas na Figura 34.

Figura 34 – Eixo para acoplamento do motor DC



Fonte – Prado (2019)

O motor quando encaixado no eixo de acoplamento da manivela, deveria ficar totalmente alinhado e preso, porém ao prender o eixo ao motor com o auxílio de um parafuso, constatou-se que o movimento da concha era interrompido por não haver torque o suficiente para forçar o giro do eixo. Assim, o motor teve que trabalhar com uma folga, afim de suprir a falta de torque.

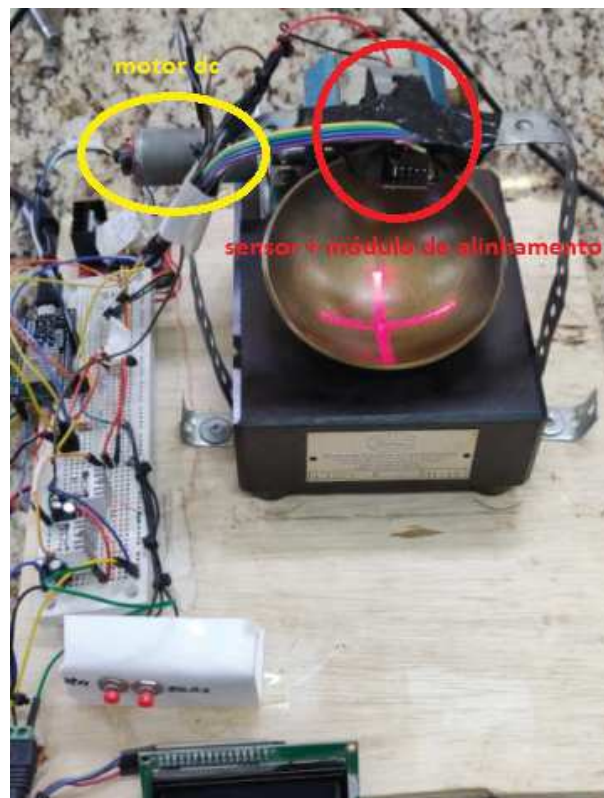
O desgaste natural da concha na região onde é aberto a ranhura para a formação dos taludes, pode ter sofrido difusão da reflexão por apresentar uma rugosidade forçada no material.

4.2 SINCRONIZAÇÃO

Inicialmente, o projeto contava com um motor DC já instalado anteriormente por Prado. Para o projeto atual, adquiriu-se um servo motor e um sensor laser, tendo a necessidade de ter o paralelismo e sincronismo no processo para realizar o movimento do motor e capturar as distâncias na extensão do fechamento dos taludes, o antigo Arduino NANO foi substituído pelo ESP-32.

Constatado nos testes de varredura da concha, comparando o modelo de varredura do sensor fixado ao servo motor e o sensor fixado em um ponto específico apresentados através de gráficos nas Figura 31 e Figura 32, o servo motor se demonstrou ineficiente ao sistema, uma vez que ao ter os semáforos com *delays* o mesmo perdia seu sincronismo com o restante do processo e além de produzir vibrações ao movimento do sensor, acarretando em medidas totalmente distintas uma das outras. Retirando o servo motor, o processo perdeu a faixa de varredura que era capaz de percorrer, ficando apenas com o módulo de alinhamento e o sensor laser como pode ser visto na Figura 35, porém ganhou precisão quando comparado ao método utilizado inicialmente.

Figura 35 – Sistema com sensor e módulo de alinhamento fixados

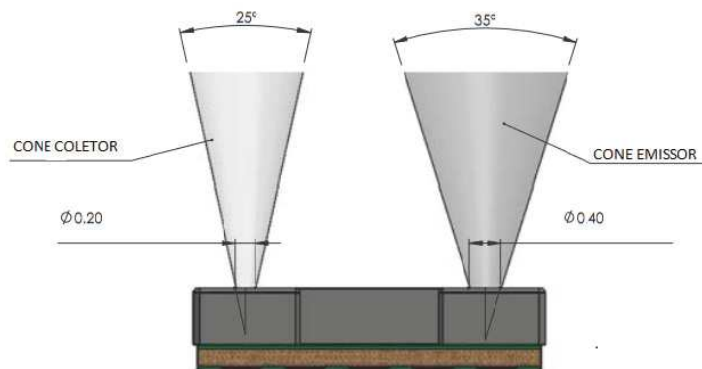


Fonte – A autoria própria

4.3 AQUISIÇÃO DE DISTÂNCIAS NO FECHAMENTO DO TALUDE

Para a aquisição de dados é de grande importância que o sensor estabeleça uma leitura precisa ficando entre a ranhura de 2 mm, tal largura correspondente a espessura do cinzel que efetua o corte na amostra de solo.

Figura 36 – Esboço do sensor VL53L0X

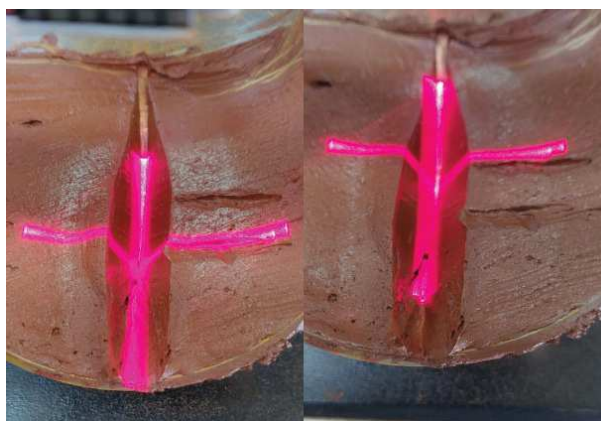


Fonte – Adaptado de STMicroelectronics (2021)

Com base nos dados fornecidos pelo fabricante pode ser observado na Figura 36 que o sensor é dividido em duas partes, sendo o emissor e o coletor, ambos possuem um orifício para o envio e recepção dos dados, e também possuem uma faixa de emissão e captação, sendo 35° e 25° respectivamente, sendo assim o fabricante considera que o sensor possui um campo de visão de 25°, tomando 65 mm como a maior distância entre o sensor e o orifício receptor, temos uma margem de 14,41 mm que o sensor pode captar além do ponto correto. Sendo assim, existe um problema quando o processo de varredura está sendo realizado e os taludes vão se fechando, podendo capturar distâncias aleatórias e assim somar ao registrador um ponto, fazendo o processo não ser finalizado da maneira correta, podendo encerrar o acumulo de pontos antes mesmo dos taludes se encontrarem.

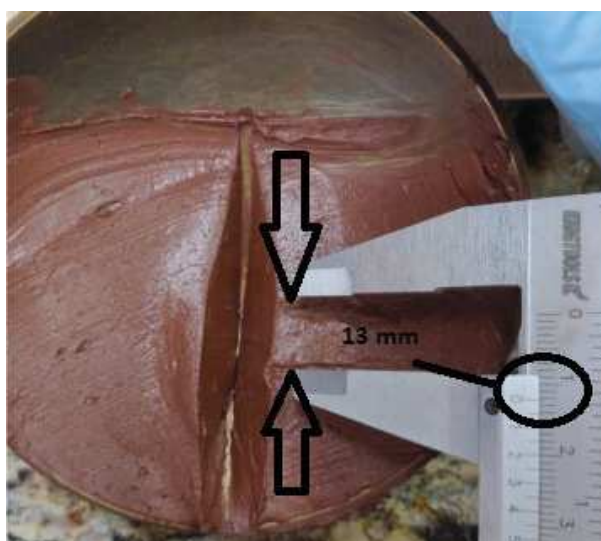
Posicionado o sensor e o módulo de alinhamento fixado em um único ponto, a uma distância de aproximadamente 65 mm, temos uma área de varredura em torno 13 mm, sendo que cada ponto mede 0,65 mm em um espaçamento de 0,57° de um ponto ao outro. Além do fechamento dos taludes visto acima, também existe o problema do alinhamento do talude com o sensor, pois se o talude for cortado poucos milímetros fora do alinhamento do sensor, será acrescentado pontos de distância ao registrador.

Figura 37 – Módulo laser de alinhamento na maior e menor distância captada pelo sensor



Fonte – Aatoria própria

Figura 38 – Distância medida com paquímetro



Fonte – Aatoria própria

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho de conclusão de curso, buscou-se automatizar o dispositivo Concha de Casagrande. De fato, foi possível a implantação de um Laser VL53L0x, que, apesar de pouca precisão, consegue parar o processo quando atinge o número de pontos necessários.

Também adaptou-se o código do projeto passado (egressa Cristiane Prado), para o microcontrolador ESP32 (atual), utilizando-se tarefas simultâneas para acréscimo de novos componentes.

D'outro giro, foi possível encontrar quatro empecilhos para a automação do dispositivo: a sincronização, partes mecânicas, erros inerentes à componentes eletrônicos e o erro humano.

Em relação à sincronização, constatou-se que o motor e leitura não conseguiram trabalhar juntos, pois foram prejudicados pelo *delay* que é utilizado na composição das tarefas.

No tocante as partes mecânicas, sabe-se que os dispositivos de Casagrande possuem divesas partes móveis, e que os componentes a disposição no laboratório já foram utilizados centenas de vezes por alunos, o que acarretou no desgaste ao longo do tempo. Os dispositivos possuem desgastes no eixo da manivela e não são uniformes. Outro grande problema ocasionado pelo desgaste, são as ranhuras encontradas no centro da concha, que podem refletir a luz que incide na superfície.

O terceiro problema encontrado são as partes eletrônicas, que precisariam ter um grau de precisão submilimétrico para o tipo de teste realizado. O sensor escolhido VL53L0X tem um grau de precisão menor se comparado ao produto da fabricante *Hypersen*, porém, seu custo é relativamente menor, o que teve grande influência na escolha.

O último fator que acarreta em erro no sistema, é a ranhura confeccionada pelo técnico responsável pelo teste. Uma vez que se tem uma estrutura acima da concha a área de trabalho fica reduzida e limita o movimento para o corte, o que pode gerar um mal alinhamento com o centro da concha e o sensor laser.

Por fim, tendo em vista que cada um dos problemas listados ao decorrer do projeto produz um erro no sistema como um todo, o trabalho mostrou-se inviável para este projeto de Conclusão de Curso, onde o valor financeiro não pode ser alto.

Todavia, o trabalho foi de grande riqueza a nível acadêmico, uma vez que utilizou-se de diversas áreas da Engenharia Eletrônica para a solução de um problema comercial, principalmente da área de Engenharia Civil.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma possível solução, seria a aquisição de um modelo novo da Concha Casagrande e um sensor industrial de precisão submilimétrica e mais restrito em sua faixa de operação captando somente a ranhura da concha, assim captando as distâncias com alta repetibilidade por conta do sensor e sem refletância causada por possíveis arranhões na concha.

Outra solução seria realizar o monitoramento através do processamento de imagem, o que demandaria uma câmera apta a capturar o movimento do solo enquanto o processo é realizado. Tal processo necessitaria de uma câmera de alta resolução e um processamento com maior capacidade, tornando microprocessadores inviável para tal tarefa.

Além do sistema de leitura, deveria ser implementado uma ferramenta de corte para confeccionar a ranhura na amostra de solo, assim seria sempre feito a ranhura alinhada com a faixa de varredura do sensor laser, não sendo possível um corte desalinhado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6549 SOLO - Determinação do limite de liquidez**: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016. 5 p.
- BICALHO, K.; GRAMELICH, J.; CUNHA, C. dos S. Comparação entre os valores do limite de liquidez obtidos pelos métodos de casagrande e cone para solos argilosos brasileiros. **Comunicações Geológicas**, v. 101, p. 1097–1099, 2014.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e 5 Suas Aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.
- CAVA, F. **Mecânica dos Solos**: Limite de liquidez. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://alemdainercia.wordpress.com/2018/07/04/mecanica-dos-solos-limite-de-liquidez/>>. Acesso em: 08 de agosto de 2019.
- CONTENCO. **APARELHO CASAGRANDE ELÉTRICO COM CONTADOR DE GOLPES I-1002-D**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://contenco.com.br/produto/aparelho-casagrande-eletrico-com-contador-de-golpes-i-1002-d/>>. Acesso em: 16 de junho de 2021.
- COUTO, B. et al. Correlação entre os valores do limite de liquidez obtidos pelos métodos de casagrande e cone de queda livre para diferentes materiais. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas**. COBRAMSEG. [S.l.: s.n.], 2016. p. 19–22.
- CURVELLO, A. **ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>>. Acesso em: 17 de junho de 2021.
- DAS, B. M. et al. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. [S.l.]: Thomson Learning São Paulo, 2007.
- ELETRONICS, M. **Chave Botão- DS-323 Push Button NA**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<http://mixelectronics.com.br/produto/chave-botao-ds-323-push-button-na/>>. Acesso em: 17 de junho de 2021.
- ESGC, C. R. **Bounce**: Falsos toques. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://cluberobotica.wordpress.com/2017/12/09/bounce-falsos-toques/>>. Acesso em: 06 de Novembro de 2020.
- FORTEST. **APARELHO CASAGRANDE ELÉTRICO COM CONTADOR DE GOLPES COMPLETO**. [S.l.], 2020. Disponível em: <http://www.fgmdobrasil.com/index.php?route=product/product&manufacturer_id=8&product_id=163>. Acesso em: 15 de junho de 2021.
- KESTLER, M. A. **Correlations and comparisons between the Casagrande liquid limit device and the fall cone**. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, 1982.

- MENDES, E. **Reflexão da luz**: Fenômeno óptico relacionado com a propagação da luz. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/reflexao-da-luz>>. Acesso em: 16 de Novembro de 2020.
- PRADO, C. B. **Automação do dispositivo concha de Casagrande para o ensaio de limite de liquidez do solo**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
- REIS, F. dos. **Curso de Eletrônica**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-o-que-e-pwm-pulse-width-modulation/>>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.
- SILVA, M. **Debounce, o que é e como resolver via software**. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/debounce-o-que-e-e-como-resolver-via-software/>>. Acesso em: 17 de junho de 2021.
- SOUSA, P. M. L. P. d. **Limite de liquidez: correlações e comparações entre os métodos de fall cone e da concha de casagrande**. Tese (Doutorado) — Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.
- SOUZA, C. d.; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 4, n. 3, p. 460–464, 2000.
- SQUIDS. **Projeto 80 - Gerando sinal PWM através de interrupção por timer - Arduino COMPLETO**. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://www.squids.com.br/arduino/index.php/projetos-arduino/projetos-squids/basico/264-projeto-80-interruptao-por-timer-no-arduino-disparo-de-alarme-com-sensor-de-toque>>. Acesso em: 17 de junho de 2021.
- STMICROELECTRONICS. **VL53L0X Datasheet**. [S.l.], 2021. Disponível em: <<http://mixelectronics.com.br/produto/chave-botao-ds-323-push-button-na/>>. Acesso em: 20 de junho de 2021.
- THOMSEN, A. **Motor DC com Driver Ponte H L298N**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/motor-dc-arduino-ponte-h-l298n/>>. Acesso em: 17 de junho de 2021.
- TOMMASELLI, A. M. G. **Um estudo sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3d a curta Distância**: A tecnologia de varredura a laser. [S.l.], 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319203931_Um_Estudo_sobre_as_Tecnicas_de_Varredura_a_Laser_e_Fotogrametria_para_Levantamentos_3d_a_curta_Distancia>. Acesso em: 18 de Abril de 2021.