UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

VALQUIRIA ANACLETO DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UM RESISTÓGRAFO DE BAIXO CUSTO E UM APLICATIVO PARA CONTROLE.

ALEGRE - ES
2021

VALQUIRIA ANACLETO DA SILVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Computação do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação. Orientador: Prof. MSc. Fabrício Guedes Bissoli.

ALEGRE - ES

2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Fabrício Guedes Bissoli (Orientador)

Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Bruno Vilela Oliveira

Universidade Federal do Espírito Santo

Profa. Msc. Valeria Alves da Silva

Universidade Federal do Espírito Santo

RESUMO

Na indústria madeireira, para o controle de qualidade, é essencial conhecer algumas propriedades da madeira, sendo a densidade um fator primordial. Diversos ensaios foram criados para se obter tais características. Todavia, os ensaios de maior precisão demandam equipamentos caros. A proposta desse trabalho é apresentar um equipamento de baixo custo cujos resultados se aproximem de um equipamento profissional não destrutivo, no caso um Resistógrafo .

Palavras-chave: Resistógrafo, Densidade da madeira, propriedades da madeira, Arduino.

Abstract

In the wood industry, for quality control, it is essential to know some properties of the wood, with density being a key factor. Several tests were created to obtain such characteristics. However, more accurate tests require expensive equipment. The purpose of this work is to present a low cost equipment, with results that are closer to a non-destructive professional equipment, in this case a resistograph.

Keywords: Resistograph, Wood density, Wood properties, Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil radial da densidade aparente (casca-medula) obtida por raio-X..... 12
Figura 2 - Perfil radial da densidade aparente (casca-medula) obtida através do Resistógrafo.....13
Figura 3 - Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Robô de controle remoto para detecção de gases tóxicos.....13
Figura 4 - Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Detector de Fogo na Floresta 15
Figura 5 - Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Verificador Portátil de Raios Ultravioleta 15
Figura 6 - Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Alimentador Inteligente de Pássaros.....16
Figura 7- História do Arduino.....18
Figura 8 - Aparelho Resistógrafo.....20
Figura 9 - Encoder Rotativo..... 21
Figura 10 - Estrutura física do Resistógrafo 22
Figura 11 - Esquema elétrico do projeto..... 23
Figura 12- Funcionalidade de Manter Usuários.....25
Figura 13 - Modelo de Domínio.....26
Figura 14 - Plataforma MIT App Inventor 27
Figura 15 - Código arduino..... 28
Figura 16 - Conectando o dispositivo Android ao módulo Bluetooth.....29
Figura 17 - Dados enviados e recebidos.....30
Figura 18 - Reprodução dos gráficos da densidade de cinco amostras de carvão.....33
Figura 19 - Estrutura de um tronco 33
Figura 20 - Reprodução dos gráficos da densidade de cinco amostras de carvão.....34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de densidades para cinco amostras de carvão 32
Tabela 2 - Valores de densidades para quatro amostras de Eucalipto.....34

SUMÁRIO

Resumo 4
1. Introdução 8
1.1. Problema e sua importância 12
1.2 Objetivos 14
1.2.1 Objetivo geral 14
1.2.2 Objetivos específicos 14
2. Revisão de literatura 15
2.1 Robô de controle remoto para detecção de gases tóxicos 203
2.2 Detector de fogo na floresta 214
2.3 Verificador portátil de raios ultravioleta 215
2.4 Alimentador inteligente de pássaros 16
3 Metodologia 17
3.1 Hardware 19
3.2 Arduino 17
3.3 Plataforma Android 19
3.4 Densidade da madeira 19
3.5 Resistógrafo 20
3.6 encoder rotativo 21
3.7 Módulo bluetooth 21
3.8 Estrutura física do projeto 22
3.9 Aplicação móvel 24
3.9.1 Requisitos funcionais 24
3.9.2 Modelagem UML 24
3.9.3 Diagrama de caso de uso 25
3.9.4 Modelo de domínio 26
3.9.5 Regras de negócios 26
3.9.6 requisitos não funcionais 27

3.9.7 Plataforma de desenvolvimento.....27
3.9.8 Programação arduino.....28
3.9.9 Conexão com módulo bluetooth.....29
3.9.10 Enviando e recebendo dados via bluetooth.....30
4 Conclusão 33
4.1 Resultados.....31
4.2 Desafios encontrados.....35
4.3 Recomendações a trabalhos futuros.....35
5 Referências.....39

1. INTRODUÇÃO

A madeira ocupa uma posição de destaque no cenário mundial, sendo dentre os materiais de origem biológica, um dos mais conhecidos e utilizados, conforme apresentado por Andrade (2005). Em razão de suas características edafoclimáticas (clima e solo), o Brasil apresenta grande competitividade no mercado(interno e externo) de produtos florestais (MOREIRA; OLIVEIRA, 2017). De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o país é líder no ranking de produtividade florestal, com média de 35,7 m³/ha/ano, sendo responsávelpor 91% de toda madeira produzida para fins industriais. Neste contexto, para a adequada avaliação de qualidade da madeira, se faz necessário o conhecimento de suas propriedades.

Dentre os diversos fatores para determinação das propriedades da madeira, a densidade é um importante fator na determinação das propriedades particulares de cada material. Essa relação física é um dos parâmetros mais importantes em termos de definição da qualidade da madeira. Os métodos tradicionais para a determinação das características da madeira, normalmente, impossibilitam que futuras inspeções sejam efetuadas, pois implicam na destruição do elemento estrutural da madeira, segundo MANTILLA (2013, apud LIMA; 2007, p. 86), além de serem trabalhosos e exaustivos.

A utilização de métodos que permitem obter uma estimativa da densidade da madeira e que não provoque danos em sua estrutura, normalmente resulta em ganhos significativos. Um dispositivo chamado Resistógrafo é uma eficiente ferramenta na utilização de métodos não destrutivos para a avaliação das características da madeira.

Essa abordagem tem como objetivo criar um sistema para identificar defeitos na estrutura interna na madeira, baseado na medida da resistência da madeira à penetração de uma agulha inserida com movimentação constante em uma árvore (GANTZ, 2002). Desta forma, é possível identificar se uma árvore está condenada, analisando se sua estrutura encontra-se em bom estado ou não. Do mesmo modo, a análise das propriedades do carvão também é de extrema importância para o seu processo de produção, pois quanto maior a densidade do carvão, maior a energia que este produzirá.

Este trabalho abordou a elaboração de um Resistógrafo de baixo custo para medição da densidade da madeira por meio de uma velocidade variável da penetração da broca, em função de uma força constante e um aplicativo para seu controle, servindo como uma alternativa ao Resistógrafo existente no mercado.

1.1. PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA

Algumas técnicas tradicionais para determinação da densidade da madeira apresentam alguns inconvenientes funcionais que podem limitar a análise satisfatória do estudo em questão. De acordo com Dias (2017), os principais fatores são o baixo rendimento da operação (amostragem, transporte, preparo de amostras e determinação da densidade básica em laboratório), e o alto custo da atividade. Esses fatores induzem a necessidade de conhecer a densidade da madeira por meio de um método não destrutivo e baixo custo.

Ensaios podem envolver métodos destrutivos ou não. Para avaliação da densidade através de um densigrafo, por exemplo, é necessária a preparação da amostra a ser analisada. Tal preparação envolve secagem em estufa, além de sua coleta, a qual pode não ser viabilizada em árvores vivas.

Entre os ensaios não destrutivos pode-se citar a análise por raio-X e o Resistógrafo . As Figuras 1 e 2 mostram resultados obtidos por tais métodos analisando a estrutura radial de uma árvore, evidenciando suas variações de densidade ao longo de suas camadas.

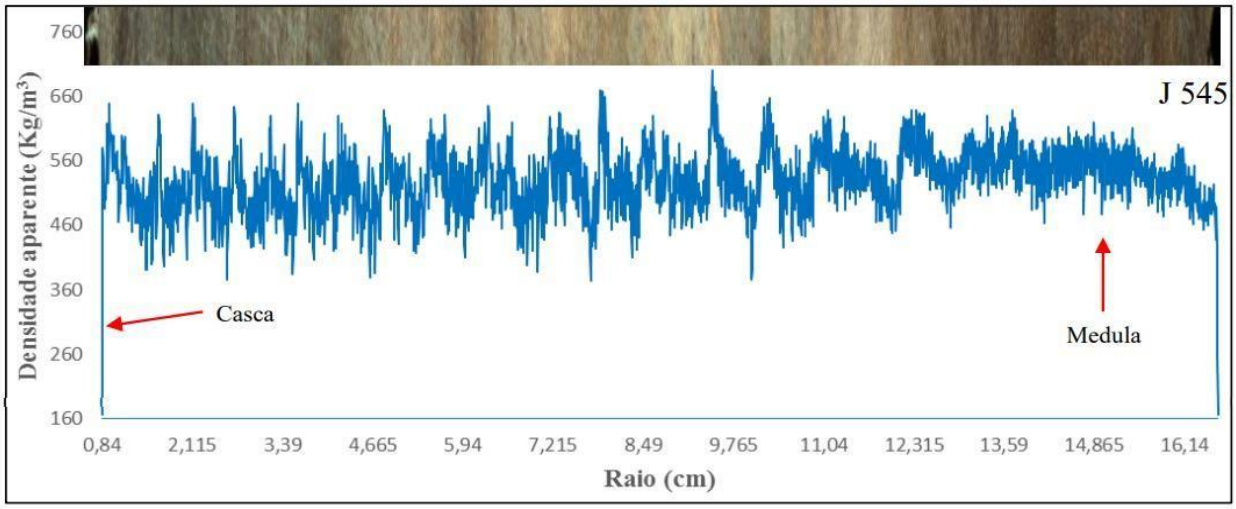


Figura 1 - Perfil radial da densidade aparente (casca-medula) obtida por raio-X.

Fonte: Santos (2016)

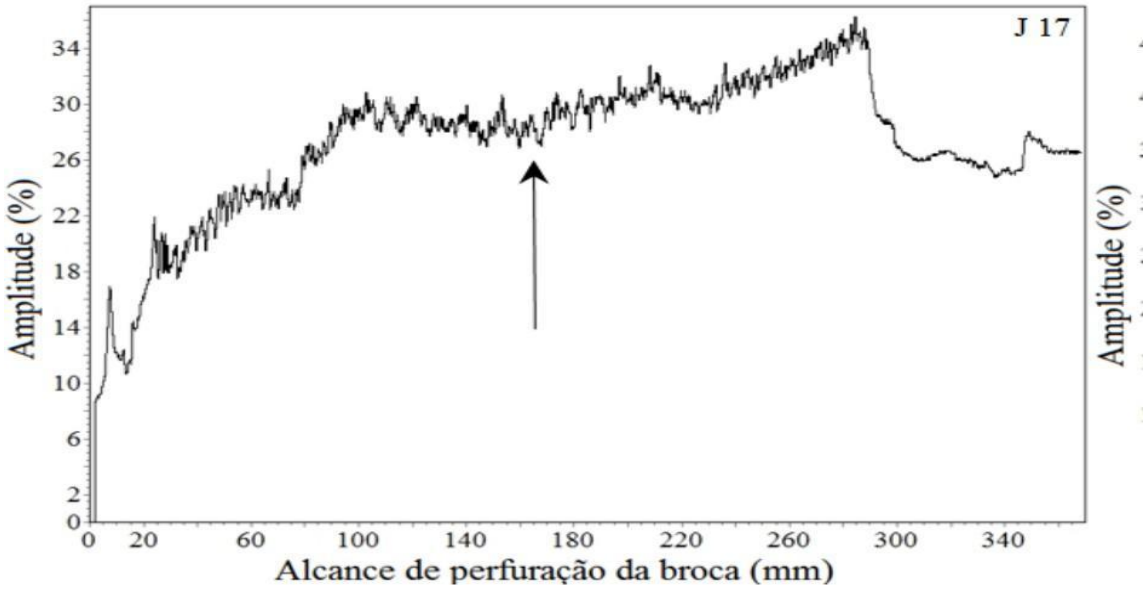


Figura 2 - Perfil radial da densidade aparente (casca-medula) obtida através de Resistógrafo .

Fonte: Santos (2016)

O aparelho Resistógrafo existente no mercado, apresentado na Figura 3, é eficiente para a avaliação não destrutiva da madeira e para determinação de suas caracteristicas. Porém, de acordo com Treestuff (2021), essa ferramenta possui o custo de $5,199.99 – 6,699.99, o que normalmente o torna menos acessível para a análise da madeira. Logo, o desenvolvimento de uma ferramenta de baixo custo, que possibilite a identificação da densidade do objeto de prova, é uma importante alternativa para o estudo das propriedades da madeira.

Para a aplicação da técnica desenvolvida neste trabalho, foi construído um protótipo de um Resistógrafo , baseado na plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e uma aplicação para dispositivos móveis Android que o controla.

1.2 OBJETIVOS

A seguir são descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral consistiu em apresentar um protótipo de um Resistógrafo de baixo custo, controlado por uma aplicação móvel que é capaz de estimar, por meio de um ensaio prático não destrutivo, a densidade da madeira e/ou carvão

1.2.2 Objetivos específicos

- Controlar por meio de um smartphone o funcionamento de um Resistógrafo desenvolvido com a finalidade de estimar a velocidade de perfuração de uma broca, a qual irá variar de acordo com a densidade da madeira (em função da sua estrutura anatômica) e do carvão.
- Desenvolver um aplicativo para a plataforma Android que seja capaz de coletar dados provenientes do Resistógrafo .
- Implementação de algoritmos de controle para o microcontrolador do Arduino
- Implementação da interface de comunicação Bluetooth entre o smartphone e o Resistógrafo
- Exibir os resultados através da interface de um smartphone.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Várias atividades básicas podem ser realizadas facilmente a partir da aplicação do Arduino e o desenvolvimento de equipamentos de baixo custo é uma tarefa que pode ser realizada através dessa ferramenta. Coelho e Georgens (2019) argumentam que além da viabilidade financeira, a utilização da placa arduino é muito eficiente na utilização de projetos que requerem o desenvolvimento de ferramentas de baixo custo para o setor florestal.

2.1 Robô de controle remoto para detecção de gases tóxicos

Alguns projetos já foram aplicados no setor florestal, como o Teleoperated Robot for Sensing the Toxic Gases (Robô de controle remoto para detecção de gases tóxicos), um robo desenvolvido para ser controlado com o objetivo de detectar gases tóxicos como o Metano, Monóxido e Dióxido de Carbono (Figura 3). Esse veículo pode ser aplicado para vistoriar áreas de insalubridade, como por exemplo em fornos na produção de carvão, verificando os níveis de gases tóxicos presentes no ambiente ajudando a controlá-lo (COELHO; GORGENS, 2019).

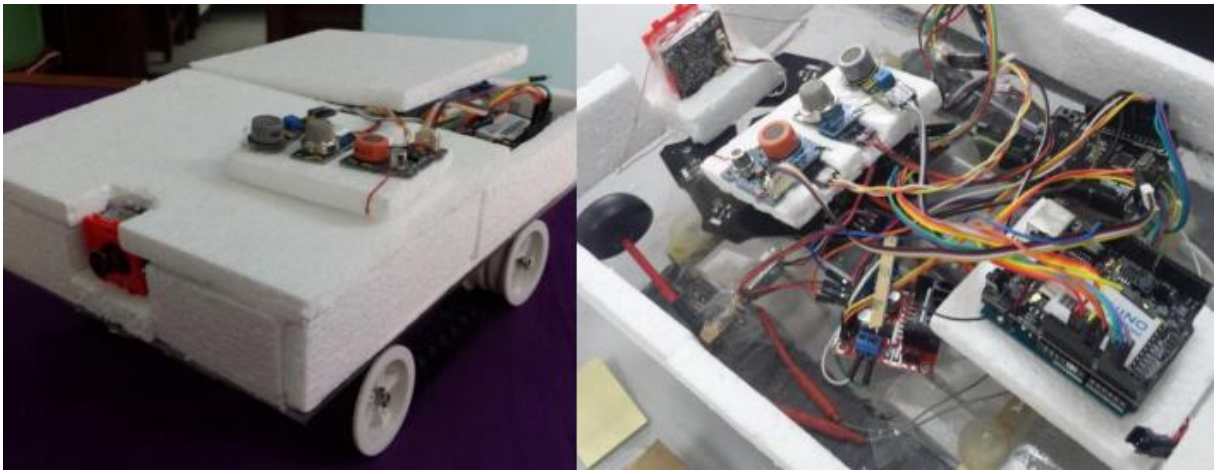


Figura 3 – Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Robô de controle remoto para detecção de gases tóxicos

Fonte: Arduino.cc - Teleoperated Robot for Sensing the Toxic Gases

2.2 Detector de Fogo na Floresta

Usado na detecção de incêndio, o Detector de Incêndio Florestal é equipado com sensores de temperatura e umidade (Figura 4). Esse equipamento foi desenvolvido com a finlidade de enviar informações remotamente, em tempo real, nas condições locais, detectando o calor das chamas. Quando introduzido em parques ou reservas, pode atuar na prevenção de grandes incêndios, detectando-os no começo, ajudando torres de incêndio e melhorando a vigilância. Para esse projeto, foi utilizado uma placa Arduino que possui conexão WiFi, componentes eletrônicos e uma bateria para alimentar o sistema (ARDUINO PROJECT HUB, 2019).

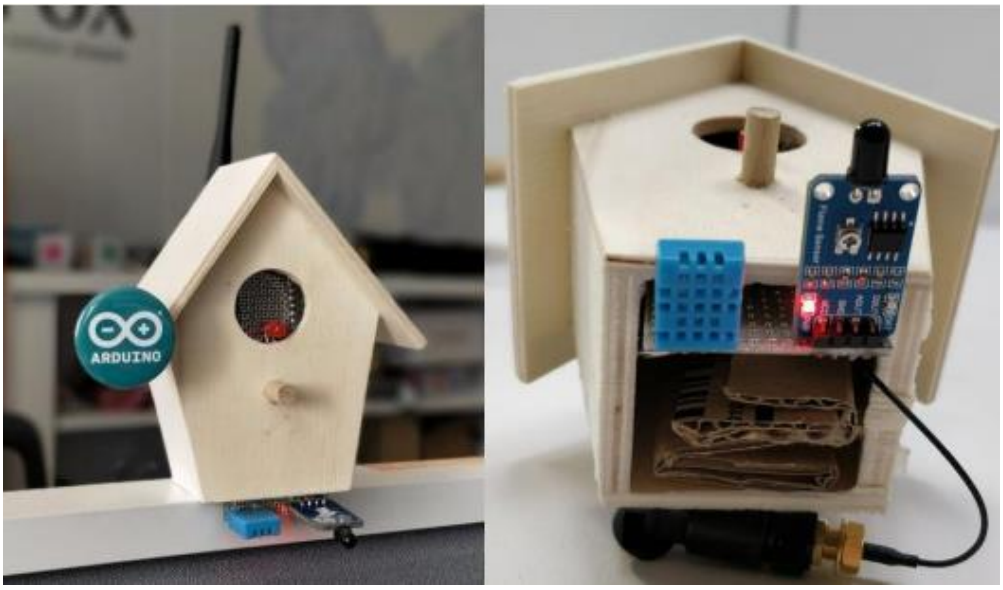


Figura 4 – Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Detector de Fogo na Floresta
Fonte: Arduino.cc - Detector de Fogo na Floresta

2.3 Verificador Portátil de Raios Ultravioleta

O verificador portátil de raios ultravioleta (Figura 5) é um dispositivo que tem a função de medir o índice dos raios solares ultravioleta em tempo real. Como visto em Coelho e Georgens (2019), esse dispositivo é utilizado no setor florestal para analisar a intensidade da luz e verificar se o nível de sombreamento está dentro dos padrões exigidos pelas diferentes espécies.

Nesse projeto foi utilizado uma placa Arduino e um sensor de luminosidade que capta a intensidade luminosa dos raios ultravioleta que é transmitido ao Arduino e exibido no display.

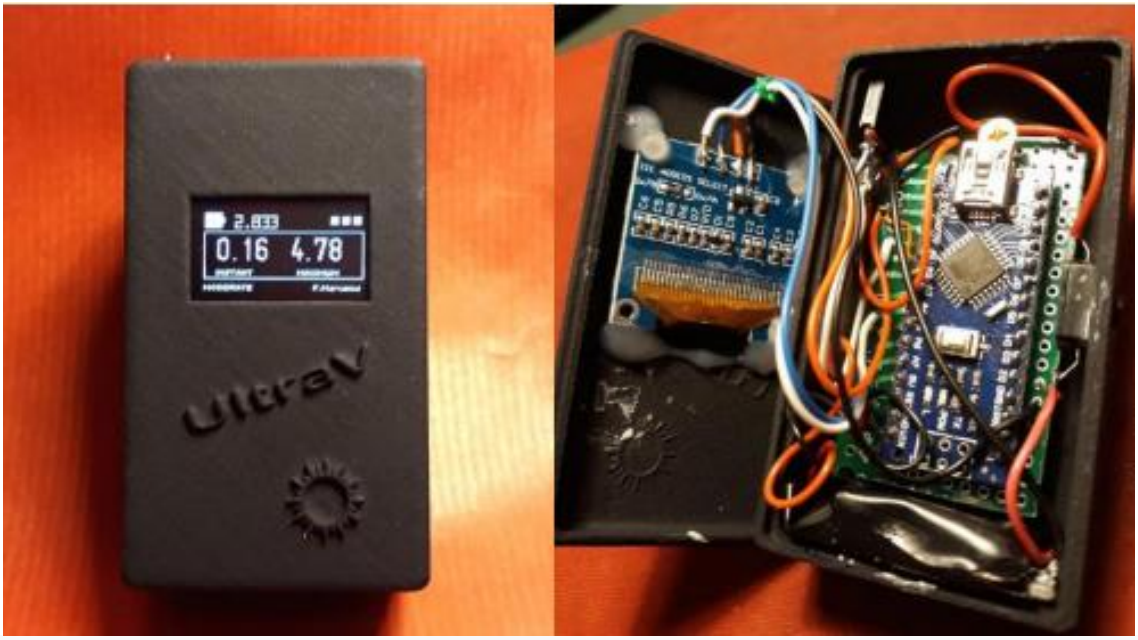


Figura 5 – Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Verificador Portátil de Raios Ultravioleta
Fonte: Arduino.cc - Verificador Portátil de Raios Ultravioleta

2.4 Alimentador Inteligente de Pássaros

O alimentador Inteligente de Pássaros é capaz de contar o número de pássaros que estão se alimentando e alertar quando o tanque de sementes está vazio (Figura 6). Dessa forma é possível estimar a quantidade de indivíduos da avifauna. Essa ferramenta também é capaz de ser aplicada no planejamento de áreas degradadas, usando pássaros locais para dispersar sementes. Para a execução desse projeto foi utilizado módulos de proximidade e sensores de luminosidade, além de uma placa Arduino com conexão Wi-fi. Os dados armazenados pelo dispositivo podem ser acessados por uma interface web, onde o usuário tem acesso a todos os dados coletados ao longo do tempo (COELHO; GORGENS, 2019).

Figura 6 – Imagens do protótipo desenvolvido do projeto Alimentador Inteligente de Pássaros

Fonte: Arduino.cc - Alimentador Inteligente de Pássaros

3. METODOLOGIA

3.1 Hardware

Para a construção do Resistógrafo, foi utilizado uma placa Arduino Mega 2560, um sensor Encoder Rotacional, um módulo relé, um módulo Bluetooth HC05 e uma morsa para fixar os corpos de prova (madeira/carvão) que fica na base inferior da estrutura. Foi construída uma base metálica com a finalidade de suportar uma parafusadeira a qual desliza através de dois eixos com rolamentos lineares do tipo utilizado em impressoras 3D, com finalidade de reduzir o atrito. Nessa base, adicionou-se um Encoder rotativo que gera pulsos elétricos a partir do movimento rotacional do seu eixo, dessa forma, sendo possível calcular as medidas de velocidade de rotação. Optou-se pelo uso de um interruptor para permitir ou não a circulação de corrente elétrica até o relé, de modo que não consuma energia quando não estiver em uso.

Neste trabalho, o eixo do Encoder é girado a partir de um fio cordone encerado, posicionado verticalmente entre a parte superior e inferior da mesma, de maneira que a cada movimento vertical da furadeira o eixo seja girado.

Está posicionado próximo a parafusadeira, na parte móvel, um relé que controla o funcionamento do motor da parafusadeira e é acionado através de um sinal de entrada, proveniente de uma placa Arduino, que também está fixa na base.

A placa Arduino utilizada está conectada a um módulo Bluetooth o qual se comunica ao aplicativo para Android que é capaz de interpretar os dados enviados pelo Arduino. Na Figura 7 é possível ver os componentes utilizados no projeto físico da plataforma.

O objetivo principal era elaborar um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato, funcional e fácil de programar, sendo dessa forma, uma ferramenta acessível (FLIPFLOP, 2019). Com hardware e software simples e fáceis de usar, o Arduino é destinado a pessoas interessadas em criar, modificar e melhorar objetos ou ambientes, tornando-os interativos e automatizados.

Nesse mesmo segmento, em busca de um equipamento de baixo custo, a tecnologia Bluetooth é encontrada em praticamente todos os Smartphones hoje em dia. Atualmente, em 2021, já são mais celulares do que pessoas no mundo, com

aproximadamente 5,22 bilhões de pessoas em todo o mundo usando smartphones, segundo dados divulgados pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações).

Por ser um dispositivo acessível a quase toda a população mundial, optou-se por utilizar um aplicativo no Smartphone para comunicação entre o Arduino e o módulo Bluetooth. Feito uma comparação com outro dispositivo para exibição dos dados enviados pelo Arduino, como um display no próprio Resistógrafo, observou-se que em relação ao custo benefício e recursos oferecidos por esses dispositivos, o Smartphone ficou em vantagem.

3.2 Arduino

O Arduino foi projetado em 2005 na Itália e tinha como objetivo de interagir com projetos escolares visando ter um orçamento menor que outros sistemas de prototipagem disponíveis (ARDUINO, 2019). É uma plataforma de prototipagem eletrônica interligada a um microcontrolador de placa única. que possui uma plataforma de computação física nos sensores e sistemas digitais ligados a sensores e atuadores que são capazes de tomar decisões lógicas em ambiente computacional, obter cálculos numéricos, e medir variáveis no ambiente físico (ARAUJO ET l.,2012). Já foram feitas várias versões da placa, com melhorias de design e de portifólio de componentes que podem ser controlados. Na Figura 7 ilustra algumas versões da placa Arduino.

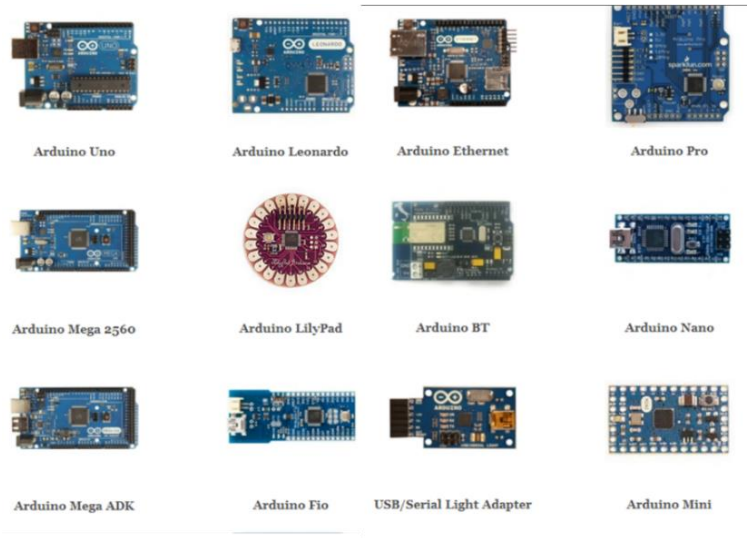


Figura 7 - História do Arduino

Fonte: http://ardufc.blogspot.com.br/2012/10/modelos-do-arduino.html

3.3 Plataforma Android

O Android é uma plataforma desenvolvida pela Google em parceria com empresas da Open Handset Alliance (OHA), como a Samsung, Motorola, HTC, Intel, LG e outras, baseada no Linux e com foco em dispositivos móveis, como smartphones e tablets SILVA (2010).

O intuito do seu desenvolvimento foi de disponibilizar para o mercado uma plataforma padrão para dispositivos móveis, independente de hardware ou fabricante. Esta plataforma é utilizada por milhões de pessoas, seja em smartphones ou tablets, e atualmente algumas empresas já trabalham com alguns aplicativos Android voltados para Agricultura de precisão, como é o caso da CS Campeiro e também do Trimble, que buscam o desenvolvimento de inovações tecnológicas no setor florestal.

3.4 Densidade da madeira

De acordo com Hellmeister (1982), a densidade (massa da madeira / volume da madeira) é a propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras, apresentando como conceito físico a quantidade de massa contida na unidade. Shimoyama e Barrichelo (1991) apresentam a densidade como um dos principais pontos de partida no estudo da madeira para diversas formas de utilização. (Queiroz et al., 2004) conclui que a densidade básica, quando avaliada adequadamente, fornece contribuições eficazes acerca da impregnação e rendimento do processo da madeira, estando fortemente relacionada com as características de resistências físico-mecânicas e qualidade da mesma.

A madeira é um material heterogêneo e muito variável. Essa variação está relacionada às diferentes dimensões celulares, proporção de vasos e quantidade de extrativos presente na madeira. O aumento da densidade da madeira está geralmente relacionado com o aumento da espessura da parede das fibras. Quanto maior a densidade, mais densa a madeira.

3.5 Resistógrafo

O aparelho Resistógrafo foi desenvolvido com a finalidade de executar análises em condições de estruturas da madeira. Tem sido muito utilizado como uma alternativa aos métodos destrutivos na madeira para determinação de suas características. De acordo com Rinn et al. (1996), o princípio do Resistógrafo consiste em uma broca feita de aço de 2 a 3 mm de diâmetro, a qual é direcionada para dentro da madeira a uma taxa de velocidade predefinida.

Ao atravessar a madeira, a broca encontra intensidades diferentes de resistência, refletindo a condição estrutural das paredes celulares; as variações entre lenho inicial e tardio nos anéis de crescimento; a espécie da madeira e seu desenho típico (por exemplo, anéis difusos ou porosos) e a maneira em que a árvore tem se desenvolvido em resposta às condições ambientais. À medida que a ponta da haste do equipamento penetra a madeira, sensores medem e registram a variação da resistência da madeira à sua penetração.

Por meio de sensores mecânicos e eletrônicos, variações no torque correspondentes ao consumo de potência da furadeira são medidas eletronicamente como um valor de resistência à perfuração. A medição fornecida pelo Resistógrafo é denominada de amplitude pelo fabricante e é expressa em porcentagem. (LIMA, 2007).

Figura 8 - Aparelho Resistógrafo

Fonte: Mantilla (2013)

3.6 Encoder rotativo

O sensor rotacional, na Figura 6, converte movimento rotacional em pulsos elétricos. Cada rotação (uma volta de 360 graus) equivale a um número de pulsos (400 pulsos), garantindo o funcionamento do sensor. A resolução de um encoder rotativo é medida pelo número de pulsos que o componente fornece em uma volta completa de seu eixo. A unidade de medida de resolução é “PPR”, sigla que corresponde a abreviação de “pulsos por revolução” (RANIEL, 2011). A ligação do módulo à placa Arduino é demonstrada na Figura 11. Nesta figura, observa-se que a ligação do sensor é realizada pelas portas digitais 2 e 3 do Arduino.

Figura 9 - Encoder Rotativo

Fonte: Metalatex. Guia Geral de Produtos Automação.Disponível em < https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/encoders> Acessado em 29 set. 2021

3.7 Módulo Bluetooth

O módulo Bluetooth é o hardware que realiza a comunicação do Arduino com o Smartphone. O Módulo Bluetooth foi o responsável pela conexão dispositivo-móvel residência. O Bluetooth por si só é um protocolo padrão de comunicação projetado para baixo consumo de energia e com alcance (FLORO et al.,2016). Como função principal, o Bluetooth é capaz de promover a comunicação de dispositivos uns com os outros quando estes estão dentro do raio de alcance.

A comunicação Bluetooth é encontrada em grande parte dos dispositivos móveis atuais, o que possibilita boa portabilidade entre a parte física do Resistógrafo e dispositivo responsável pela navegação.

3.8 Estrutura física do projeto

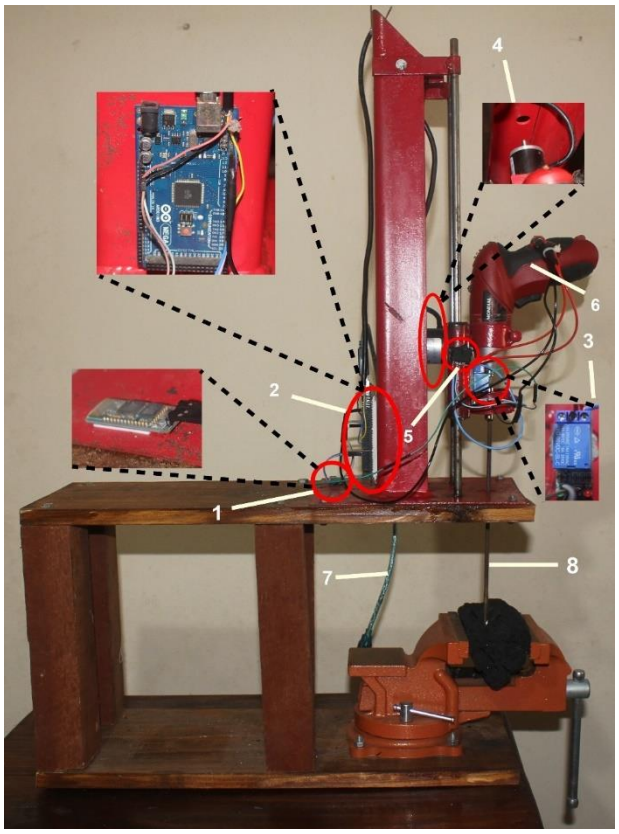


Figura 10 - Estrutura física do Resistógrafo (visão lateral)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os componentes enumerados na Figura 10 são os seguintes:

1. Módulo Bluetooth;
2. Arduino
3. Módulo relé
4. Encoder Rotativo
5. Interruptor
6. Bateria e motor (dentro da parafusadeira)
7. Carregador portátil
8. Broca de 3mm

O esquema da ligação elétrica que foi implementado é ilustrado na Figura 11

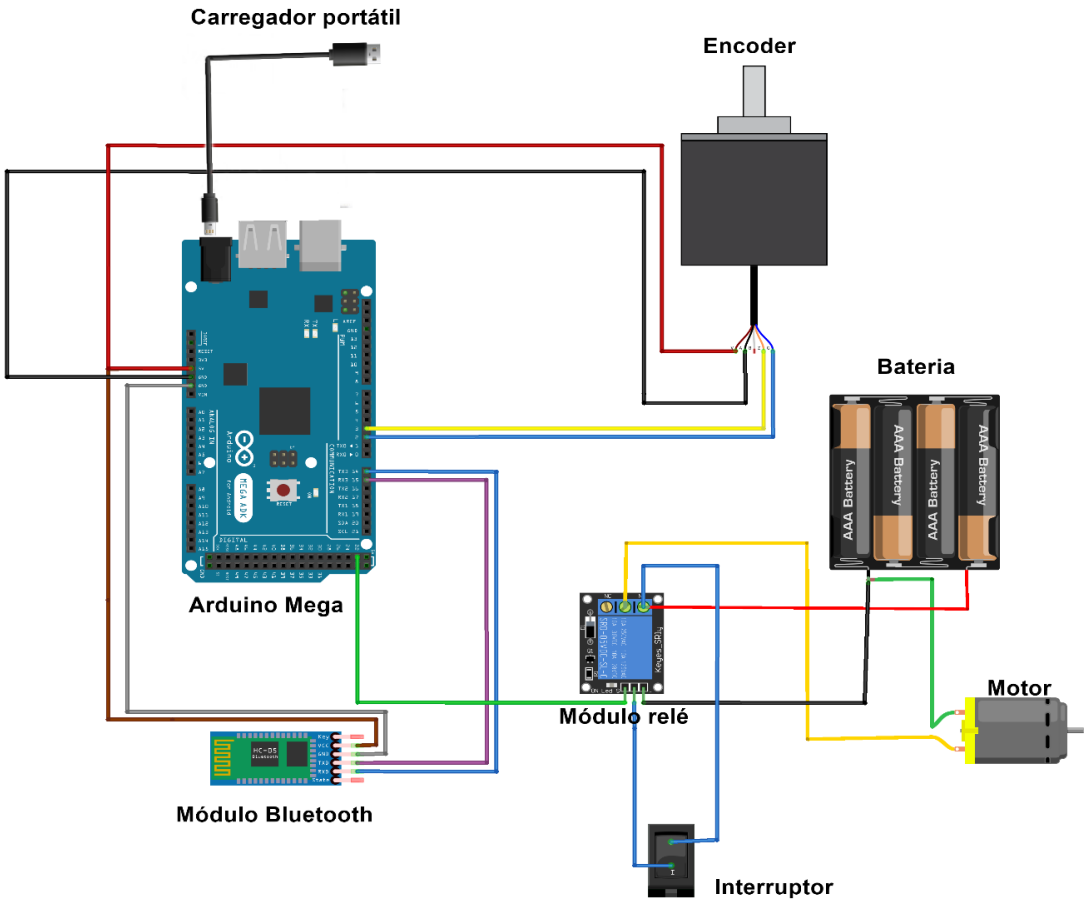


Figura 11 - Esquema elétrico do projeto.

Fonte: Elaborada pelo autor

3.9 Aplicação móvel

3.9.1 Requisitos Funcionais

Os Requisitos Funcionais identificados a partir do levantamento realizado foram:

RF01 – Parear com módulo Bluetooth: A aplicação deve possibilitar a comunicação do Smartphone com o módulo Bluetooth.

RF02 – Manter profundidade: A aplicação deve guardar temporariamente e exibir a profundidade gerada pela amostra atual de análise.

RF03 – Manter tempo: A aplicação deve guardar temporariamente e exibir o tempo gerada pela amostra atual de análise.

3.9.2 Modelagem UML

> A UML (Linguagem Unificada de Modelagem) é uma linguagem gráfica de modelagem para visualização, especificação, construção e documentação para desenvolver sistemas computacionais orientados a objeto, esta modelagem é apresentada através de diagramas. É utilizada para uma melhor compreensão do sistema que será desenvolvido, especificar comportamentos internos que são as variáveis que interagem com o sistema (usuário e ambiente) e internos (sistema e suas especificações) e documentar as decisões tomadas (VERGILIO, 2011).

A modelagem UML será utilizada como principal forma de documentar o sistema.

3.9.3 Diagrama de Caso de Uso

O diagrama de casos de uso especifica um conjunto de funcionalidades, através do elemento sintático ‘casos de uso’, e os elementos externos que interagem com o sistema, através do elemento sintático ‘ator’ (SILVA, 2007). Essa visão proporciona suporte principalmente para o comportamento de um sistema, ou seja, os serviços externamente visíveis que o sistema fornece no contexto de seu ambiente. Neste caso os diagramas de caso de uso são usados para fazer a modelagem do contexto de um sistema e fazer a modelagem dos requisitos de um sistema.

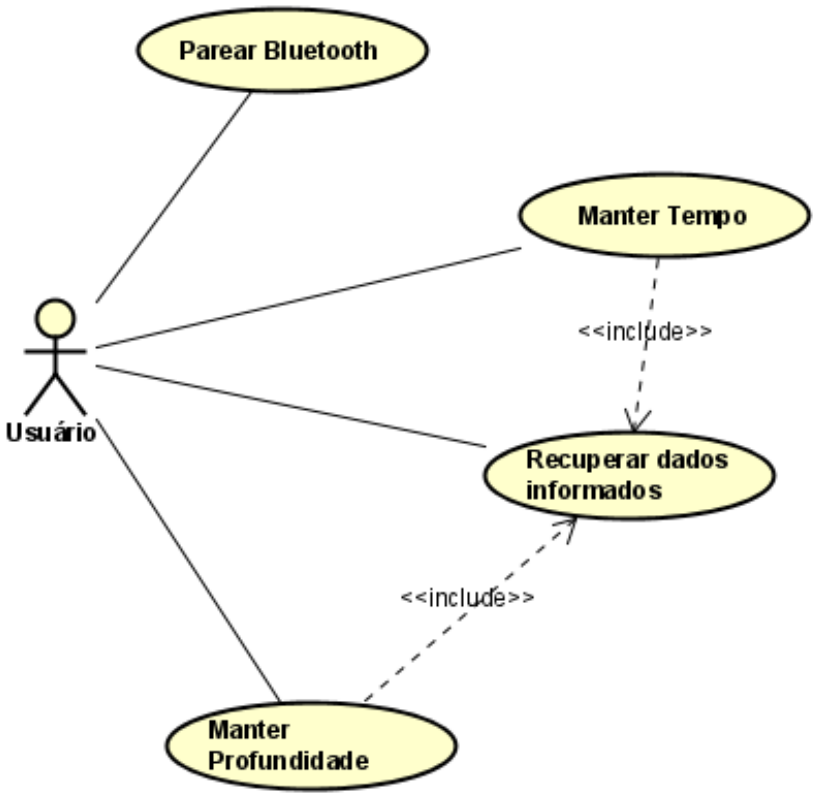


Figura 12 - Funcionalidade de Manter Usuários

Fonte: Elaborada pelo autor

3.9.4 Modelo de Domínio

Um diagrama de classes é um modelo fundamental de uma especificação orientada a objetos. Produz a descrição mais próxima da estrutura do código de um programa, ou seja, mostra o conjunto de classes com seus atributos e métodos e os relacionamentos entre classes. Classes e relacionamentos constituem os elementos sintáticos básicos do diagrama de classes (SILVA, 2007).

O Diagrama de classes será utilizado como um facilitador, caso seja necessário, no processo de desenvolvimento, como forma de identificar quais entidades estarão presentes no software e como as mesmas estarão relacionadas.

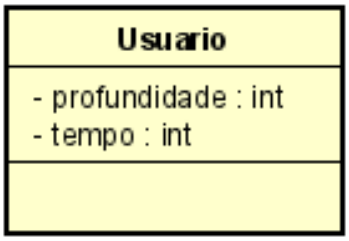


Figura 13 - Modelo de Domínio

Fonte: Elaborada pelo autor

3.9.5 Regras de Negócios

BR1 – Profundidade: Ao acionar o Resistógrafo, o Arduino receberá a velocidade da perfuração de uma força constante que é estimada pelos pulsos elétricos emitidos pela movimentação rotacional do eixo do Encoder rotativo.

BR2 – Tempo: O tempo de perfuração em segundos é iniciado quando o Resistógrafo for acionado

3.9.6 Requisitos não funcionais

RNF1 - Linguagem de programação: O sistema deve ser desenvolvido em Java.

RNF2 - Plataforma: O sistema deve ser desenvolvido na Plataforma Mit App Inventor**.**

3.9.7 Plataforma de desenvolvimento

Para o desenvolvimento do aplicativo para Android, foi utilizada a linguagem de programação Java através da plataforma MIT App Inventor (Figura 13), que é um ambiente de programação em blocos, o qual permite o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis Android. O aplicativo interage com o Arduino através do módulo Bluetooth o qual permite ligar, desligar e ler os dados emitidos pelo hardware.

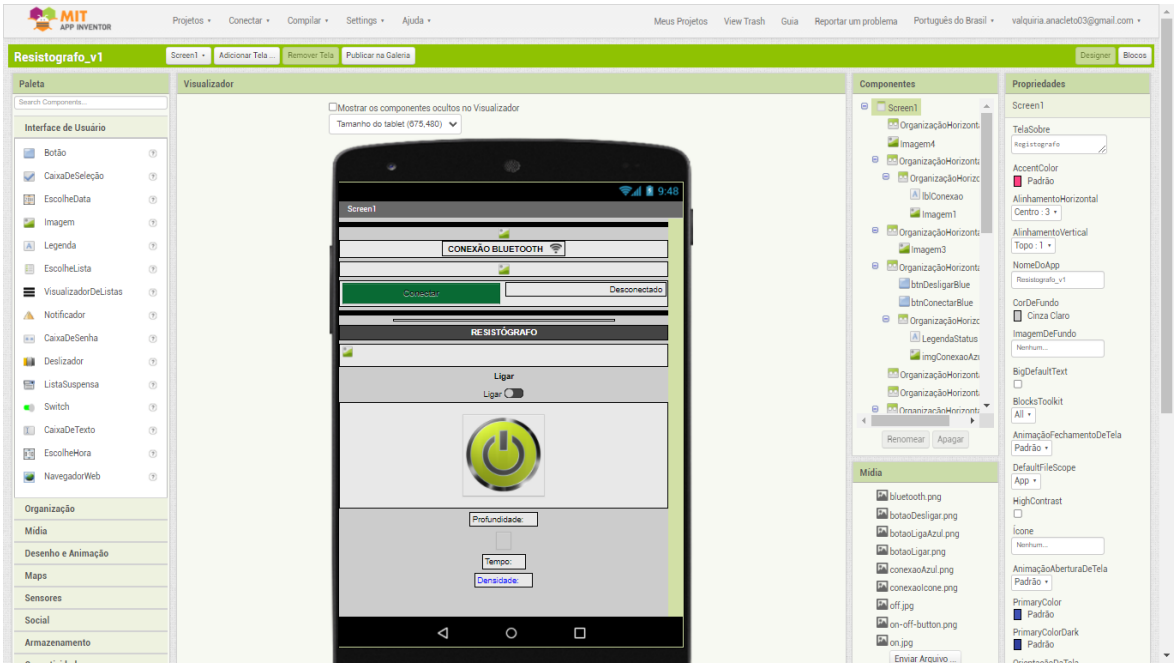


Figura 14: Plataforma MIT App Inventor

Fonte: Elaborada pelo autor

3.9.8 Programação Arduino

A porta serial do software irá iniciar a comunicação entre os dois componentes. No arduino foi feita a inicialização das variáveis do encoder, para que possa ser recebido pela porta serial e enviado para a aplicação. Na Figura 14 é exibido o código do Arduino.

resistografov1 | Arduino 1.8.13

Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

resistografov1 §

```
#include "SoftwareSerial.h"


SoftwareSerial HC05(14, 15);

const int rele = 22;
const int pin_A = 2;
const int pin_B = 3;
unsigned char encoder_A;
unsigned char encoder_B;
unsigned char encoder_aux = 0;

int profundidade = 0;
char val;


void setup() {
  pinMode(pin_A, INPUT);
  pinMode(pin_B, INPUT);
  HC05.begin(9600);

  Serial.begin(9600);
  pinMode(rele, OUTPUT);
  digitalWrite(rele, HIGH);
}

void loop() {

  if (HC05.available() > 0) {
```

Continuação

resistografov1 | Arduino 1.8.13

Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

resistografov1 §

```
void loop() {

  if (HC05.available() > 0) {

    val = HC05.read();


    if (val == 'a')
    {
      digitalWrite (rele, LOW);

    }
    if (val == 'b')
    {
      digitalWrite (rele, HIGH);
    }
  }

    encoder_A = digitalRead(pin_A);
    encoder_B = digitalRead(pin_B);

    if ((encoder_A != encoder_aux )) {

      if (encoder_B == HIGH) {

        profundidade++;

      }
    }

    Serial.print(profundidade);
    encoder_aux = encoder_A;
```

Figura 15: Código arduino

Fonte: Elaborado pelo autor

3.9.9 Conexão com módulo Bluetooth

Neste trabalho utilizou a integração do Arduino com o Java, possibilitando assim disponibilizar os dados adquiridos pela plataforma Arduino em outra linguagem de programação. A Figura 15 mostra o código da conexão do módulo Bluetooth com o Smartphone.

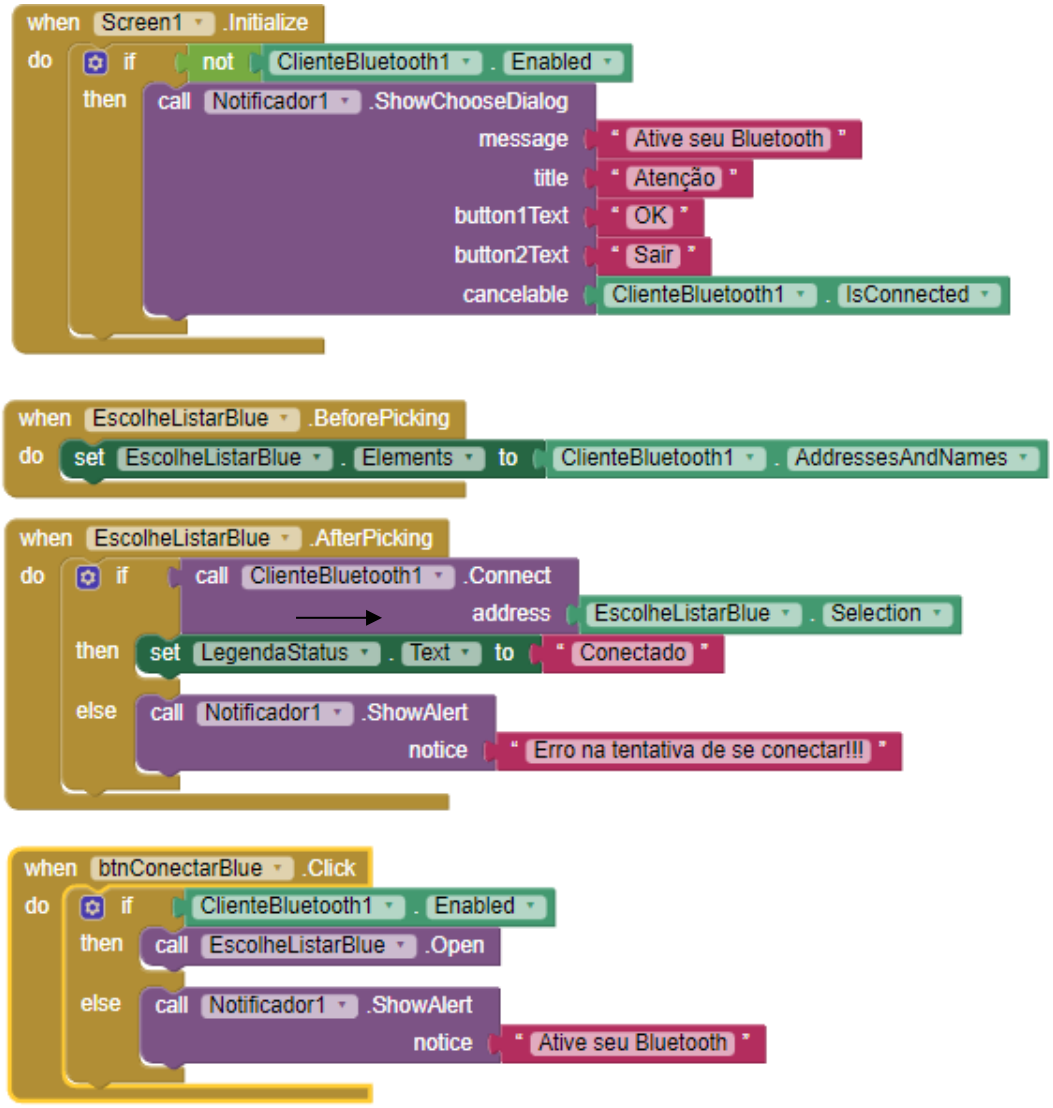


Figura 16 - Conectando o dispositivo Android ao módulo Bluetooth

Fonte: Elaborado pelo autor

3.9.10 Enviando e recebendo dados via Bluetooth

Para enviar dados via Bluetooth, o texto que será enviado contém parâmetros que serão lidos pelo e interpretados pelo Arduino. Para receber o status de alguma porta do Arduino é preciso solicitar o status e em seguida receber os dados. A Figura 12 ilustra o bloco de código de envio de dados e a mudança do layout dos botões. A Figura 13 mostra o código que recebe os dados proveniente do encoder e a estimativa da densidade usada para esse trabalho: Densidade = (tempo decorrido/ perfuração).

Foi estipulada uma variável de distância (perfuração) que é enviada através do módulo Bluetooth para a aplicação. A distância percorrida é estimada pela própria aplicação quando acionado o botão ligar. Ao desligar o botão, o campo densidade é modificado pelo resultado da divisão: $\frac{\textbf{tempo decorrido}}{\textbf{profundidade}}$

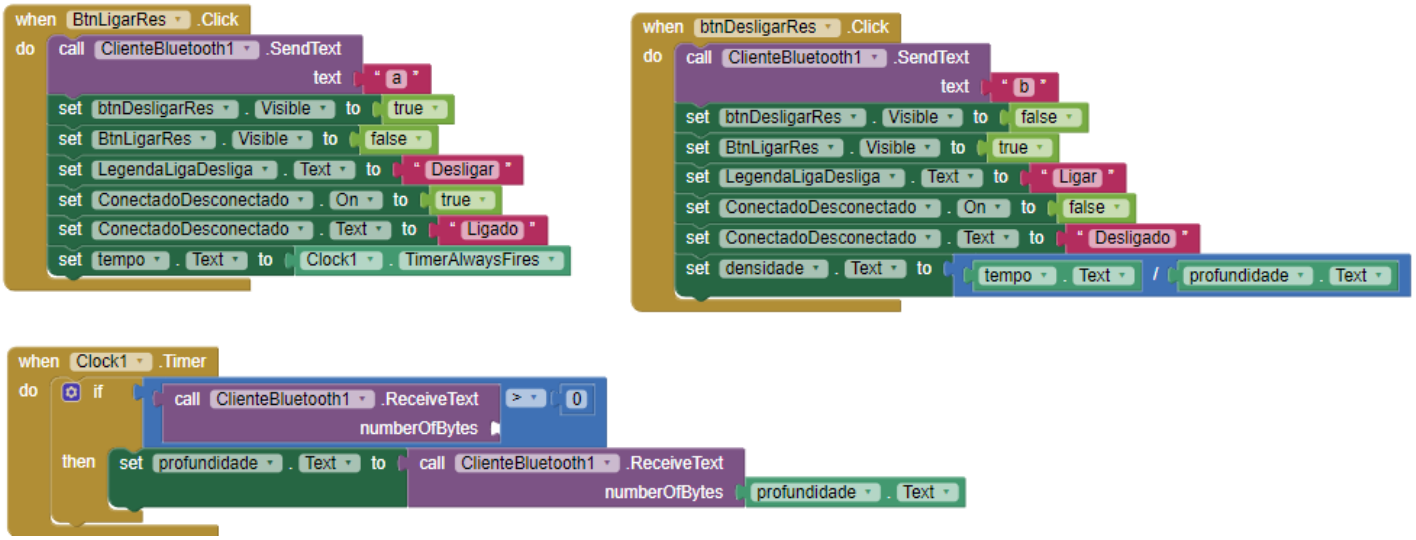


Figura 17 - Dados enviados e recebidos

Fonte: Elaborado pelo autor

4. CONCLUSÃO

Ao final desse trabalho, foi concluído o desenvolvimento de um equipamento que custou $1,000.00 para ser desenvolvido e um aplicativo para seu controle, capaz de estimar a densidade da madeira e do carvão.

A relação de massa e volume serve para a classificação da madeira, seja para madeira para celulose, para carvão ou para painéis. Nesse trabalho, foi analisado quanto tempo é gasto para a broca avançar uma determinada profundidade, onde é definido que a densidade se dará por: densidade = $\frac{\text{tempo decorrido}}{\text{profundidade}}$ onde, quanto maior for esse valor, maior a densidade.

4.1 Resultados

Foram realizados testes em cinco diferentes amostras de carvão, com peso e tamanho variados, onde pode-se estimar a densidade do carvão pela comparação da velocidade da perfuração com uma força constante, durante 40 segundos em cada objeto de forma isolada. A figura 17 reproduz para as amostras de carvão os gráficos exibidos pela ferramenta F-Tools, que nesse caso, foi construído com os dados retirados da aplicação de controle, no qual a cada 5 segundos, foi feita uma pausa para que a análise da perfuração da broca pudesse ser verificada. Foi estipulado para a execução desses testes cerca de 40 segundos para perfuração de cada amostra. Esse tempo foi pré estabelecido para essas amostras, pois a perfuração da broca no carvão ocorre em maior velocidade comparado ao Eucalipto, que também foi utilizado como amostra e será detalhada a seguir.

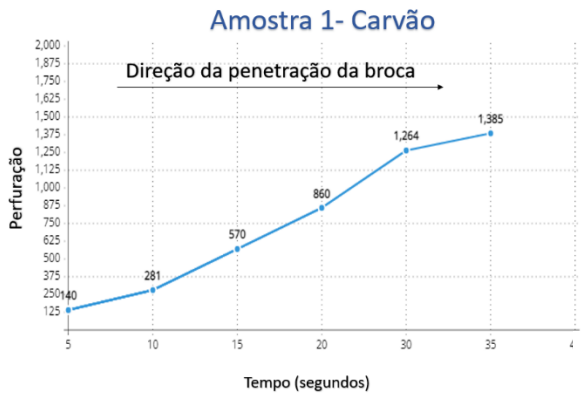
A média geral correspondente à velocidade da penetração da broca no carvão em relação ao tempo, foi de (0.031). A maior densidade de (0.039) foi produzida pela amostra 2 e a menor pela amostra 5 (0.028). A tabela 1 exibe os resultados do tempo, perfuração e densidade das cinco amostras de carvão.

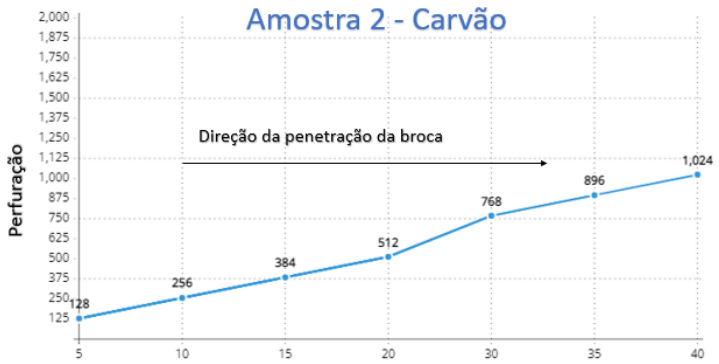
Amostra	Tempo (Segundos)	Perfuração	Densidade
1	40	1385	0.028
2	40	1024	0.039
3	40	1259	0.031
4	40	1347	0.029
5	40	1403	0.028

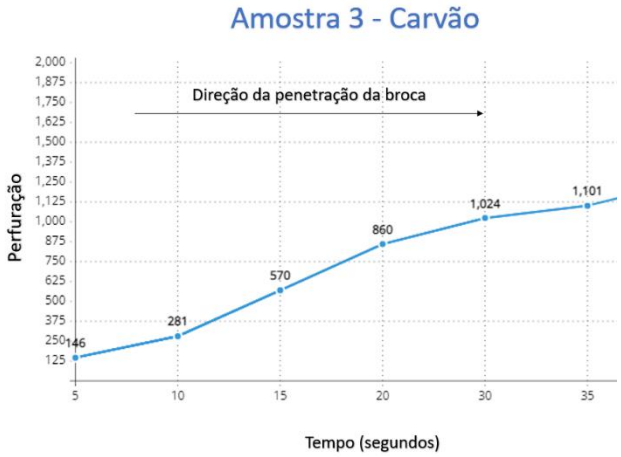
Tabela 1 - Valores de densidades para cinco amostras de carvão

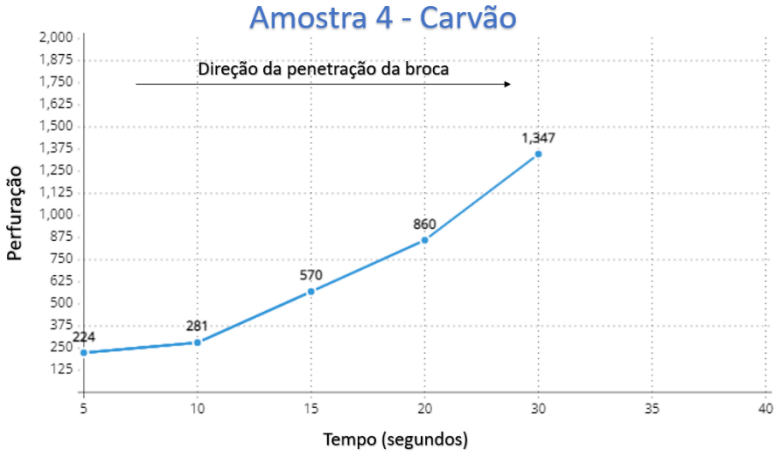
Fonte: Elaborado pelo autor

Os gráficos produzidos mostraram diferentes magnitudes de perfuração e perfis para diferentes tipos de amostra. Mesmo assim, foi possível constatar que várias leituras eram similares, quando os ensaios eram repetidos em posições próximas na mesma amostra.









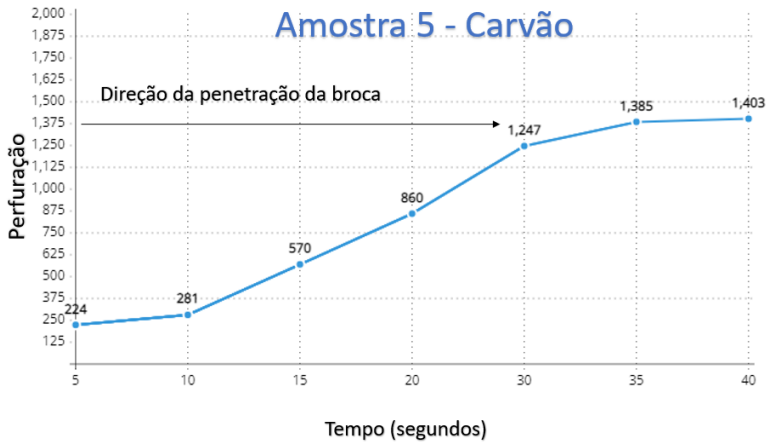


Figura 18- Reprodução dos gráficos da densidade de cinco amostras de carvão

Fonte: Elaborada pelo autor

Foram utilizadas quatro amostras de Eucalipto e foi pré estabelecido 120 segundos (2 minutos) para que a broca perfurasse cada objeto de prova. As variações na resistência da haste ao perfurar são causadas pelas alterações da densidade da madeira dentro e entre os anéis de crescimento (EL-KASSABY et al., 2011) e com as mudanças das camadas de cerne e alburno (Figura 18). Pode-se analisar isso pelos gráficos da Figura 19, onde percebe-se que à medida que a broca se aproxima do cerne, a perfuração fica mais lenta e demorada. Nesse caso, a cada 120 segundos, foi feita uma pausa para que a análise da perfuração da broca pudesse ser verificada.

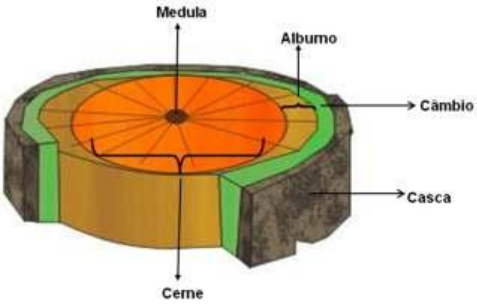


Figura 19 – Estrutura de um tronco

Fonte: Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira (ANPM)

A velocidade média da penetração da broca no Eucalipto em relação ao tempo, foi de (0.304). A menor densidade de foi produzida pela amostra 2 (0.279) e a maior pela amostra 4 (0.325). A tabela 2 exibe os resultados do tempo, perfuração e densidade das quatro amostras de Eucalipto.

Amostra	Tempo (Segundos)	Perfuração	Densidade
1	120	401	0.299
2	120	429	0.279
3	120	381	0.314
4	120	369	0.325

Tabela 2 - Valores de densidades para quatro amostras de Eucalipto

Fonte: Elaborado pelo autor

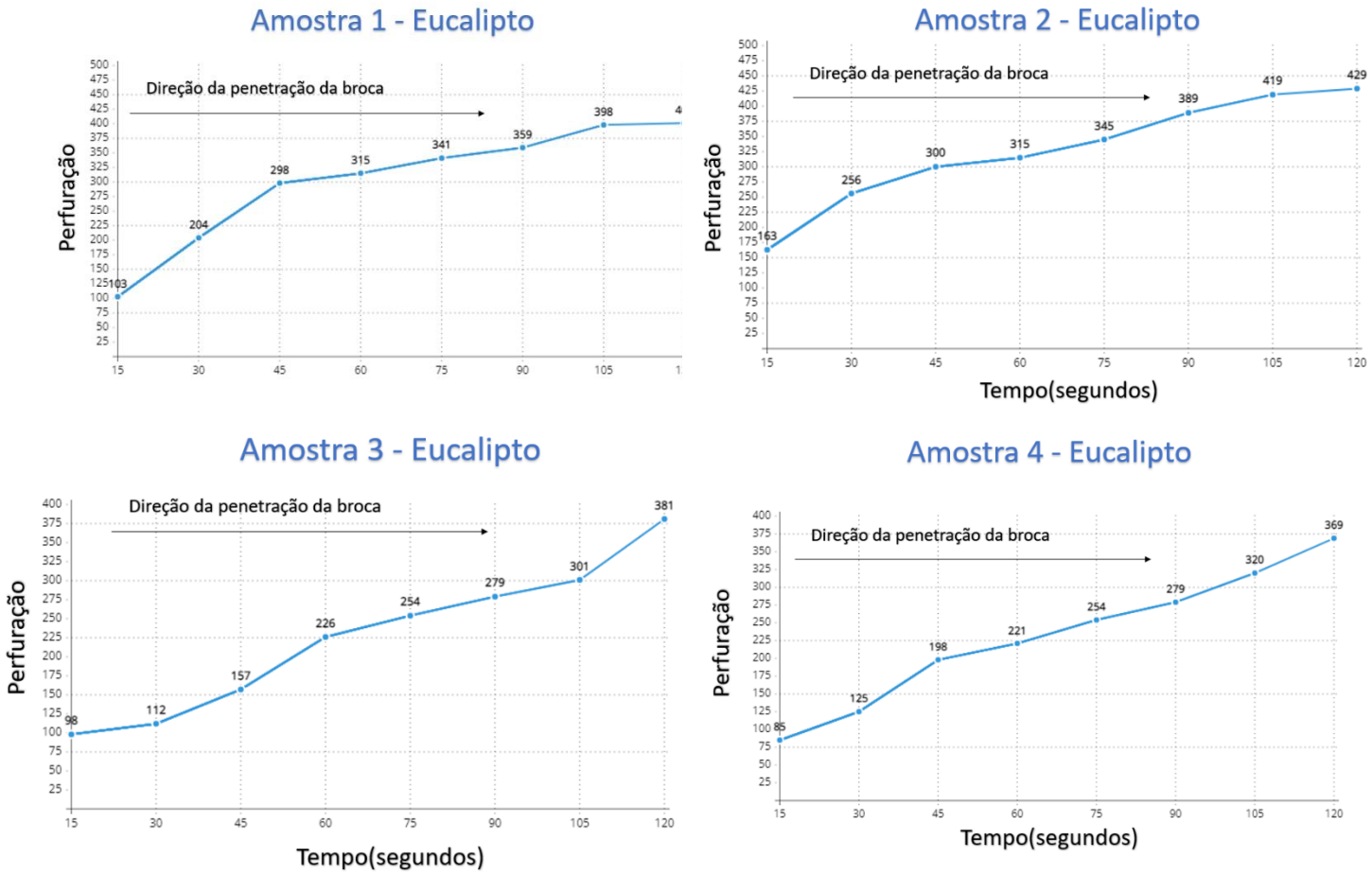


Figura 20 - Reprodução dos gráficos da densidade de quatro amostras de Eucalipto

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2 Desafios encontrados

A calibração com um Resitógrafo profissional não foi possível de ser realizada, pois estamos vivendo um momento de Pandemia no Brasil, que atualmente impossibilita as pessoas de se encontrarem como antes. As instituições e universidades estão realizando suas atividades de forma remota. Devido a esse momento, não se pôde realizar a correlação com um Resistógrafo profissional.

4.3 Recomendações a Trabalhos Futuros

Como proposta para trabalhos futuros, é recomendado realizar a calibração através da associação da média obtida de um valor real da densidade obtida de um Resistógrafo profissional pré-calibrado (citado em 3.5). Além disso, é desejável uma adaptação para que o Resistógrafo funcione na horizontal, com a finalidade de fazer ensaios não destrutivos em árvores vivas, analisar as densidades em camadas e avaliar se a árvore está com seu cerne comprometido.

4. REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. S. de et al. **Química da madeira**. 3 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

ARDUINO**.** Disponivel em:<http://arduino.cc/>. Acesso em: julho de 2021.

TREESTUFF. **Equipamentos para arboristas.** Disponivel em :< https://www.treestuff.com/>. Acesso em: outubro de 2021.

COELHO, H. F.; GORGENS, E. B. **Aplicações florestais de soluções baseadas em Arduino**. 2019. Relatório técnico (Graduação em Engenharia florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

ARDUINO PROJECT HUB. **Detector de Fogo em Floresta**. Disponível em: <https://create.arduino.cc/projecthub/luisomoreau/sigfox-forest-fire-detector 9fd55b?ref=search&ref_id=forest&offset=0>. Acesso em: outubro de 2021.

RANIEL, T. **Desenvolvimento e implementação de um sistema de controle de posição e velocidade de uma esteira transportadora usando inversor de frequência e microcontrolador.** Ilha Solteira, UNESP, 2011, 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2011.

FLIPFLOP. **Modelos de placas Arduino**, 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em outubro de 2021.

FLIPFLOP. **O que é Arduino**, 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em outubro de 2021.

ANATEL. **Agência nacional de Telecomunicações**, 1993. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br>. Acesso em: outubro de 2021.

Vergilio, Silva (2011) **Introdução a UML**. Disponível em: <http://www.inf.ufpr.br/silvia/ESNovo/UML/pdf/IntroduzUMLAl.pdf>. Acesso em outubro de 2021.

SILVA, R. P. e. **UML 2 em Modelagem Orientada a Objetos**. Florianópolis: Visual Books, 2007.

QUEIROZ, S. C. S. et al. **Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de Eucaliyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake**. Revista Árvore, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 901-909, 2004

EL-KASSABY, Y. A. et al. **In situ wood quality assessment in Douglas-fir**. Tree Genetics & Genomes, 2011.

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F.H.; SCHAR, E. **Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species**. Holzforschung, Berlin, v.50, n.4, p.303-311, 1996.

MANTILLA, Edgar Vladimiro; PEREIRA, Nara Cristina Santos; ALVES, Rejane Costa. **Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do Resistógrafo**. 2013.

GANTZ, C.H. **Evaluating the efficiency of the Resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species**. Raleigh: University of North Carolina State, 88p. 2002. (Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais)

DIAS, Donizete da Costa et al. **Uso da técnica de resistografia e de variáveis dendrométricas na modelagem da densidade básica de povoamentos clonais de Eucalyptus**. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 609-619, 2017.

ARDUINO. Disponivel em:<http://arduino.cc/>. Acesso em julho de 2019.

ARAÚJO, I. B. Q. et al. **Desenvolvimento de um protótipo de automação predial/residencial utilizando a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino**.

In: Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (Cobenge), Belém, UFPA. 2012.

SILVA, Luciano Alves da. Apostila de Android: **Programando passo a passo**. 4ª Ed. Disponível em: <http://apostilaandroid.ueuo.com> Acesso em agosto de 2021.

LIMA, J. T. et al. **Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de Eucalyptus**. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, 2007.

COELHO, Hiago; GORGENS, Eric. **Aplicações florestais de soluções baseadas em arduino**. Minas Gerias: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2019.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. DoctoralThesis, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brazil, 1973.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELLO, L. E. G**. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de Eucalyptus spp**. In: Congresso anual de celulose e papel. 1991. p. 178-183.

DE ALENCAR, Gláucia Soares Barbosa; BARRICHELLO, LEG; SILVA JÚNIORR, F. G. **Qualidade da madeira de híbrido de E. grandis x E. urophylla e seleção precoce**. In: Congresso anual da associação brasileira técnica de celulose e papel. São Paulo: out, 2001. p. 1-6.

MOREIRA, JMMAP; DE OLIVEIRA, E. B. **Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais**. Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico (ALICE), 2017.

SANTOS, Pablo Vieira dos et al. **Utilização de métodos não destrutivos na avaliação da qualidade da madeira de Cariniana legalis (Mart.) Kuntze proveniente de plantios de restauração florestal**. 2016.

FLORO, PAVANELLI, SANTOS, SILVA. **Uso de Arduino e módulo bluetooth para controle e Automação de residências** .Uberlândia. Monografia (Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Uberlândia.2016.

PELLISON, Antonio Tadeu; VICENTIN, Tiago Aparecido. **Controlador de nível de líquidos utilizando encoder e arduino**. In: V JORNACITEC. 2016.