

Faculdade de Tecnologia de Santo André
Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial

TÍTULO: Sistema de medição de ventos integrando anemômetro e aplicativo Android.

CATEGORIA: TG1 e TG2.

ÁREA: Ciências Exatas e da Terra

SUBÁREA: Mecatrônica Industrial

INSTITUIÇÃO: Faculdade de Tecnologia de Santo André

AUTORES: David José Ferreira do Nascimento e Gabriel José Ferreira do Nascimento

ORIENTADORES: Prof. Me. Luiz Vasco Puglia e Prof. Dr. Wellington Batista de Sousa

1. Resumo

A força dos ventos desempenha papel fundamental na navegação, permitindo o deslocamento por rios, lagos e mares, além de contribuir para o desenvolvimento econômico e tecnológico, como a expansão do comércio entre diferentes regiões. Nesse contexto, os veleiros utilizam o vento como principal fonte de propulsão, sendo amplamente empregados também em competições esportivas, como as regatas. Diante da necessidade de otimizar o aproveitamento do vento, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema capaz de informar o quanto está sendo aproveitando o vento no veleiro. Utiliza um anemômetro integrado a um microcontrolador ESP 32 (*Espressif Systems*) e a um dispositivo móvel com sistema operacional *android*, possibilitando a coleta e a visualização de dados em tempo real. Como resultado, busca-se fornecer suporte à tomada de decisão da tripulação, indicando as condições ideais de navegação e contribuindo para a melhoria do desempenho da embarcação.

Palavras-chave: Anemômetro; ESP 32; Integração; Navegação; Veleiros.

2. Introdução

A medição da velocidade e direção do vento é essencial em diversas áreas de aplicação, destacando-se a agrometeorologia, ciência responsável pelo estudo da interação entre os fenômenos climáticos e a produção agropecuária. Nessa área, informações relacionadas à temperatura, radiação solar e vento auxiliam no planejamento de safras, manejo de culturas e controle de pragas, contribuindo para a otimização dos recursos naturais e aumento da produtividade agrícola [1].

De forma semelhante, no setor náutico, o monitoramento das condições meteorológicas exerce papel fundamental na segurança, desempenho e tomada de decisões durante a navegação. Informações precisas sobre a intensidade e direção do vento auxiliam desde embarcações de pequeno porte até embarcações destinadas a atividades esportivas e recreativas, tornando indispensável a utilização de instrumentos de medição adequados [2].

Tradicionalmente, a obtenção desses dados é realizada por meio de anemômetros analógicos ou digitais, os quais podem apresentar limitações relacionadas ao custo, portabilidade e formas de visualização e armazenamento das informações coletadas. Com o avanço dos sistemas embarcados, das tecnologias de comunicação sem fio e dos dispositivos móveis, tornou-se possível o desenvolvimento de soluções mais compactas,

acessíveis e integradas, capazes de fornecer informações em tempo real de maneira prática e de fácil interpretação [3].

Nesse contexto, a integração entre sensores, eletrônica, sistemas embarcados e software possibilita o desenvolvimento de sistemas capazes de realizar a aquisição, processamento e apresentação de dados de forma eficiente, permitindo que informações meteorológicas sejam disponibilizadas diretamente em dispositivos móveis amplamente utilizados no cotidiano [4].

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de medição da velocidade e direção do vento para aplicações náuticas, integrando um anemômetro a um aplicativo Android destinado ao monitoramento das condições de navegação. O sistema proposto busca oferecer uma solução de baixo custo, fácil utilização e adequada às necessidades do ambiente marítimo, possibilitando o acompanhamento em tempo real das condições de vento e contribuindo para a segurança dos tripulantes, otimização do desempenho da embarcação e apoio à tomada de decisões durante a navegação.

Para isso, o projeto contempla o desenvolvimento de um sistema embarcado baseado no microcontrolador ESP 32, responsável pela aquisição e processamento dos dados provenientes do anemômetro por meio do protocolo Modbus RTU, bem como sua transmissão sem fio para um aplicativo móvel Android, desenvolvido para fornecer uma visualização clara, objetiva e acessível das informações coletadas e processadas pelo sistema.

3. Justificativa

A navegação segura e eficiente depende diretamente do conhecimento das condições ambientais e meteorológicas, sendo a velocidade e a direção do vento parâmetros fundamentais para a tomada de decisões em ambientes náuticos. Informações imprecisas ou de difícil acesso podem comprometer o desempenho da embarcação, influenciar estratégias de navegação e, em situações críticas, colocar em risco a segurança dos tripulantes [2].

A motivação para o desenvolvimento deste projeto surgiu a partir de uma sugestão do orientador, praticante experiente da navegação como atividade recreativa e esportiva, o que reforça a relevância prática da proposta. Sua vivência no ambiente náutico evidenciou a necessidade de uma solução confiável, de baixo custo e de fácil utilização para o monitoramento da velocidade e da direção do vento, tanto em viagens quanto em

competições, nas quais pequenas variações podem impactar significativamente o desempenho da embarcação.

Embora existam equipamentos comerciais voltados para essa finalidade, muitos apresentam custo elevado e dependência de sistemas proprietários, o que limita sua acessibilidade e flexibilidade de uso. Nesse contexto, o desenvolvimento de um sistema próprio, integrando um anemômetro a um aplicativo Android, configura-se como uma alternativa viável e inovadora, permitindo maior personalização e acesso aos dados em tempo real por meio de dispositivos móveis amplamente difundidos.

Além da aplicação prática no setor náutico, o projeto também se justifica do ponto de vista acadêmico e profissional, pois possibilita a integração de conhecimentos adquiridos ao longo do curso de mecatrônica, como sensores, sistemas embarcados, comunicação sem fio e desenvolvimento de *software*. Essa abordagem contribui para a consolidação de competências técnicas relevantes, ao mesmo tempo em que resulta em uma solução funcional aplicada a um problema real.

Adicionalmente, o presente trabalho alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ao ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao propor o desenvolvimento de uma solução tecnológica acessível e inovadora. De forma complementar, também se relaciona ao ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao incentivar o monitoramento e a melhor compreensão das condições ambientais, promovendo práticas mais conscientes e eficientes no uso de recursos naturais [4].

Dessa forma, o sistema proposto apresenta potencial para auxiliar navegadores em atividades recreativas e competitivas, proporcionando maior controle da embarcação em diferentes condições de vento e contribuindo para decisões mais seguras e eficientes durante a navegação.

4. Objetivos

Neste tópico descrevemos os objetivos do nosso projeto.

4.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de monitoramento da velocidade e direção do vento para aplicações náuticas, integrando um anemômetro a um aplicativo Android capaz de receber, processar e exibir informações em tempo real. O sistema deverá realizar a aquisição, processamento e transmissão sem fio dos dados meteorológicos por meio de um sistema embarcado baseado em ESP 32, além de utilizar informações de navegação obtidas por

GPS para determinar o vento real e calcular o VMG (*Velocity Made Good*), fornecendo ao usuário informações que auxiliem na avaliação do aproveitamento do vento, na tomada de decisões durante a navegação e na otimização do desempenho de embarcações à vela.

4.2 Objetivos específicos

- Desenvolver o sistema embarcado responsável pela aquisição, processamento e transmissão dos dados de velocidade e direção do vento;
- Implementar a comunicação sem fio entre o *hardware* e o aplicativo móvel;
- Desenvolver um aplicativo Android para visualização e monitoramento dos dados em tempo real;
- Integrar os componentes do sistema, garantindo o funcionamento adequado entre *hardware* e *software*;
- Avaliar o desempenho do sistema em condições simuladas ou reais de navegação.

5 Materiais e métodos

Nesta seção abordaremos os materiais e métodos utilizados durante a elaboração do trabalho, separados em 9 tópicos esclarecidos a seguir.

5.1 Sistemas de navegação

Os sistemas modernos de navegação marítima são caracterizados pela integração de diferentes tecnologias, como posicionamento por satélite, sensores e sistemas de comunicação, com o objetivo de fornecer informações em tempo real para apoio à tomada de decisão. Essa integração está alinhada ao conceito de *e-Navigation*, que busca aumentar a segurança e a eficiência das operações no ambiente marítimo por meio da consolidação de dados provenientes de múltiplas fontes [6,7].

Entre os principais sistemas utilizados na navegação, destacam-se o GPS (*Global Positioning System*), responsável pelo fornecimento de dados de posicionamento e velocidade, o Radar (*Radio Detection and Ranging*), utilizado para detecção de obstáculos e outras embarcações, e o AIS (*Automatic Identification System*), que permite a identificação e o monitoramento do tráfego marítimo. Esses sistemas, quando integrados, proporcionam maior confiabilidade e precisão na navegação [6].

Além desses sistemas, os sensores ambientais desempenham papel fundamental, especialmente em aplicações náuticas que dependem diretamente das condições do meio.

A medição da velocidade e da direção do vento, realizada por meio de anemômetros, fornece dados essenciais para a tomada de decisões relacionadas ao controle e ao desempenho da embarcação [8].

Nesse contexto, o sistema desenvolvido neste trabalho insere-se como um subsistema de aquisição de dados ambientais, sendo responsável pela medição da velocidade e da direção do vento. O sistema utiliza um anemômetro integrado a um microcontrolador para aquisição e processamento dos dados, que são posteriormente transmitidos por meio de comunicação sem fio para um aplicativo móvel, permitindo a visualização das informações em tempo real.

5.2 Instrumentação e sensores

A instrumentação consiste no conjunto de técnicas e dispositivos utilizados para a medição, monitoramento e controle de variáveis físicas em um determinado sistema. Esses sistemas são amplamente empregados em diferentes áreas da engenharia, permitindo a coleta de dados de forma precisa e confiável, contribuindo para a análise, controle e tomada de decisão em processos diversos. Sensores e transdutores são elementos fundamentais da instrumentação, sendo responsáveis por converter grandezas físicas, como temperatura, pressão e velocidade, em sinais que podem ser processados por sistemas eletrônicos [3,9].

No contexto naval, a instrumentação desempenha papel essencial para o monitoramento das condições operacionais e ambientais das embarcações. A utilização de sensores integrados a sistemas embarcados permite a obtenção de dados em tempo real, contribuindo para o aumento da segurança, eficiência e confiabilidade da navegação. Com o avanço das tecnologias, esses sistemas passaram a incorporar diferentes tipos de sensores e mecanismos de comunicação, possibilitando maior automação e controle das operações marítimas [7,10].

Dentre os diversos tipos de instrumentação aplicados ao ambiente náutico, destacam-se os sensores ambientais, especialmente aqueles voltados à medição da velocidade e da direção do vento. Dispositivos como anemômetros são amplamente utilizados para esse fim, fornecendo dados essenciais para aplicações que dependem das condições climáticas. Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de instrumentação capaz de realizar a aquisição, processamento e transmissão desses dados, contribuindo para o monitoramento em tempo real e apoio à tomada de decisão durante a navegação [8].

5.3 Anemômetro

O anemômetro é um instrumento utilizado para a medição da velocidade do vento, sendo amplamente empregado em aplicações meteorológicas e na navegação marítima para o monitoramento das condições ambientais. A obtenção dessas informações é fundamental para a segurança e eficiência das operações, uma vez que o comportamento do vento influencia diretamente o desempenho das embarcações e a tomada de decisões durante a navegação [9].

Seu funcionamento baseia-se, de modo geral, na conversão da energia cinética do vento em movimento mecânico ou sinais elétricos. Nos modelos mais comuns, como os anemômetros de conchas, o vento provoca a rotação de um conjunto de pás acopladas a um eixo, cuja velocidade de rotação é proporcional à velocidade do vento. Esse movimento é convertido em sinais elétricos por meio de sensores, permitindo que os dados sejam processados por sistemas eletrônicos para monitoramento e análise.

Em aplicações náuticas, os dados fornecidos pelo anemômetro correspondem ao vento aparente, isto é, ao vento percebido pela embarcação em movimento. Esse valor resulta da combinação entre o vento existente no ambiente e o deslocamento da própria embarcação. Dessa forma, o vento aparente pode diferir do vento real, que representa as condições efetivas do vento independentemente do movimento do veleiro. A determinação do vento real é particularmente importante em embarcações à vela, pois permite avaliar de forma mais precisa as condições de navegação e o aproveitamento do vento disponível para propulsão da embarcação [2].

Para garantir a confiabilidade das medições, é necessário seguir critérios técnicos relacionados à instalação e ao tratamento dos dados coletados. Entre esses critérios destacam-se a realização de médias temporais das medições, a análise de rajadas e variações do vento ao longo do tempo e a instalação do sensor em locais adequados, preferencialmente livres de obstáculos que possam interferir na circulação do ar. Essas práticas contribuem para a obtenção de informações mais precisas sobre as condições ambientais, tornando os dados coletados mais representativos e adequados para aplicações que dependem do monitoramento das condições de vento [10].

5.4 Vento aparente e vento real

Na navegação à vela, a correta interpretação das condições de vento é fundamental para a condução eficiente e segura da embarcação. Nesse contexto, é importante distinguir os conceitos de vento aparente e vento real, uma vez que ambos fornecem informações relevantes para a tomada de decisões durante a navegação. O vento aparente corresponde ao vento percebido pela embarcação em movimento e, conseqüentemente, ao valor medido

pelo anemômetro instalado a bordo. Sua velocidade e direção resultam da combinação entre o vento existente no ambiente e o deslocamento da própria embarcação, fazendo com que os valores observados pelo sensor possam diferir das condições reais do vento [8].

Por sua vez, o vento real representa a velocidade e a direção efetivas do vento no ambiente, independentemente do movimento do veleiro. O conhecimento dessa informação é particularmente importante em embarcações à vela, pois permite uma análise mais precisa das condições meteorológicas e do aproveitamento do vento para propulsão da embarcação. A partir da integração dos dados de velocidade e direção do vento aparente com informações de velocidade e rumo obtidas por sistemas de posicionamento global (GPS), é possível determinar o vento real por meio de relações matemáticas e vetoriais, fornecendo ao navegante informações mais adequadas para o planejamento e condução da navegação [2].

A distinção entre vento aparente e vento real constitui um aspecto relevante para sistemas de monitoramento náutico, uma vez que possibilita uma melhor compreensão das condições ambientais e serve como base para a análise do desempenho da embarcação. Dessa forma, a determinação do vento real contribui para a avaliação da eficiência da navegação e para o melhor aproveitamento das condições de vento disponíveis durante o deslocamento da embarcação [2,8].

5.5 Microcontrolador ESP 32

Os microcontroladores são dispositivos eletrônicos programáveis que integram, em um único circuito, uma unidade de processamento, memória e periféricos de entrada e saída, sendo amplamente empregados em sistemas embarcados para controle, automação e aquisição de dados provenientes de sensores em tempo real [11].

A evolução desses sistemas, aliada ao avanço das tecnologias de comunicação sem fio, tem possibilitado o desenvolvimento de soluções inteligentes para monitoramento, controle e transmissão de informações em diversas áreas tecnológicas [12].

Nesse contexto, destaca-se o microcontrolador ESP 32, que combina elevado desempenho computacional com baixo consumo de energia e incorpora recursos de conectividade sem fio, como *bluetooth* e Wi-Fi, além de múltiplas interfaces de comunicação e periféricos integrados [11].

Essas características tornam o dispositivo uma solução versátil para aplicações de Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*) e sistemas de monitoramento, permitindo a aquisição de dados de sensores, o processamento das informações obtidas e sua posterior transmissão para outros dispositivos, desempenhando papel fundamental na integração entre hardware e software em sistemas embarcados.

5.6 Comunicação *bluetooth*

A comunicação entre o sistema embarcado e o dispositivo móvel foi implementada utilizando o *bluetooth* clássico integrado ao microcontrolador ESP 32. Essa abordagem foi adotada devido à facilidade de integração com dispositivos móveis e à simplicidade na transmissão serial de dados em tempo real entre o sistema embarcado e o aplicativo [11].

A transmissão dos dados foi realizada utilizando o perfil *Serial Port Profile* (SPP) do *bluetooth* clássico, permitindo a comunicação serial sem fio entre o microcontrolador e o aplicativo móvel. Os dados obtidos pelo anemômetro e processados pelo sistema embarcado são enviados continuamente ao aplicativo [11].

5.7 Comunicação *Modbus*

O protocolo Modbus RTU é um dos padrões mais utilizados na comunicação industrial, sendo amplamente empregado em sistemas de automação para a troca de dados entre dispositivos eletrônicos baseado em uma arquitetura mestre–escravo, o protocolo permite que um dispositivo central faça requisições a dispositivos periféricos, garantindo a leitura e escrita de dados de forma organizada e confiável [13].

Neste Trabalho a comunicação com o sensor foi realizada por meio desse protocolo, utilizando a interface RS-485, o que possibilita a aquisição estruturada dos dados de velocidade do vento via comunicação serial com maior imunidade a ruídos, o microcontrolador ESP 32 atua como dispositivo mestre na rede, realizando requisições periódicas ao sensor (escravo) para leitura dos registradores de interesse [14].

5.8 Programação para Android com Kotlin

O sistema proposto inclui o desenvolvimento de um aplicativo móvel para a plataforma Android, amplamente utilizado em dispositivos móveis devido à sua flexibilidade e ampla adoção. O aplicativo foi desenvolvido com o objetivo de realizar a recepção, o processamento e a exibição dos dados de velocidade e direção do vento obtidos pelo sistema embarcado [15].

Para sua implementação, foi utilizada a linguagem Kotlin, recomendada oficialmente para o desenvolvimento de aplicações Android devido à sua sintaxe moderna, recursos de segurança e integração nativa com a plataforma [16].

O desenvolvimento foi realizado no ambiente Android Studio, que disponibiliza ferramentas para criação de interfaces gráficas, testes e depuração da aplicação. O

aplicativo foi projetado para se comunicar com o sistema embarcado por meio de conexão bluetooth, permitindo a recepção dos dados em tempo real e sua apresentação ao usuário de forma clara e acessível, contribuindo para o monitoramento das condições de navegação [15].

5.9 Lei dos cossenos

Para a determinação do vento real, foi empregada a lei dos cossenos, relação matemática utilizada na resolução de triângulos oblíquos e amplamente aplicada em problemas envolvendo composição vetorial [17].

O sistema utiliza os dados de velocidade e direção do vento aparente obtidos pelo anemômetro, em conjunto com a velocidade de deslocamento da embarcação em relação ao solo SOG (*Speed Over Ground*), adquirida por meio do sistema GPS do dispositivo móvel, a partir dessas informações, a lei dos cossenos é utilizada para estimar a intensidade resultante do vento real durante a navegação. A relação matemática é expressa por:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \times \cos(\theta)$$

Em que a e b representam as magnitudes conhecidas, θ corresponde ao ângulo entre os vetores e c representa a grandeza resultante.

No projeto vamos usar da seguinte forma:

$$vr = \sqrt{va^2 + sog^2 - 2 \times va \times sog \times \cos(\theta)}$$

onde:

- vr = velocidade real em nós (knot);
- va = velocidade aparente em nós (knot);
- sog = speed over ground em nós (knot);
- θ = ângulo entre vento aparente e movimento do barco.
- Observação, $m/s = 1,943846 \text{ knots}$ [18].

5.10 VMG (*Velocity made good*)

A métrica Velocity Made Good (VMG) representa a componente da velocidade da embarcação efetivamente direcionada em relação ao vento, sendo amplamente utilizada na navegação à vela para avaliação de desempenho. Neste trabalho, o cálculo do VMG foi

realizado a partir da velocidade sobre o solo (Speed Over Ground – SOG) e do ângulo do vento real (True Wind Angle – TWA), obtido por meio do processamento dos dados do anemômetro e do GPS [19].

Inicialmente, foram determinados a velocidade do vento real (True Wind Speed – TWS) e o ângulo do vento real (TWA) por meio da combinação vetorial entre a velocidade da embarcação e o vento aparente medido pelo sensor. O vento aparente corresponde ao vento percebido pela embarcação em movimento, enquanto o vento real representa as condições efetivas do vento no ambiente.

$$V_{\text{Aparente}} = V_{\text{real}} - Vel \text{ Barco}$$

A partir do cálculo do vento real, determina-se o ângulo de vento real (True Wind Angle – TWA), definido como o ângulo entre a direção de deslocamento da embarcação e a direção do vento real.

Dessa forma, o VMG é calculado pela projeção da velocidade da embarcação na direção do vento real, conforme a Equação:

$$VMG = SOG \times \cos(TWA)$$

em que:

- SOG (Speed Over Ground) representa a velocidade da embarcação medida pelo sistema GPS;
- TWA (True Wind Angle) representa o ângulo relativo entre o rumo da embarcação e a direção do vento real.

Essa formulação permite quantificar a parcela da velocidade efetivamente convertida em avanço contra o vento, constituindo um importante indicador de desempenho para análise da eficiência da navegação à vela.

Dessa forma, o VMG expressa a eficiência do deslocamento da embarcação em relação ao vento efetivo, integrando simultaneamente velocidade e orientação relativa ao ambiente dinâmico de vento, sendo uma métrica fundamental para avaliação de desempenho em navegação à vela[19].

6. Desenvolvimento

Neste tópico abordaremos a construção física e o desenvolvimento do protótipo desenvolvido neste trabalho.

6.1 Implementação física do projeto

O protótipo foi desenvolvido utilizando o microcontrolador ESP 32 como unidade central de processamento, responsável pela aquisição, processamento e transmissão dos dados meteorológicos coletados pelo sistema, sendo empregado o sensor integrado de velocidade e direção do vento Veinasa XS-WSDS01 para obtenção das informações ambientais.

A comunicação entre o sensor e o microcontrolador foi implementada por meio do protocolo Modbus RTU, utilizando um módulo conversor TTL (Transistor-to-Transistor Logic) para RS-485, responsável pela adaptação elétrica necessária para a comunicação serial entre os dispositivos e pela integração dos módulos eletrônicos e estruturais utilizados no funcionamento do protótipo.

O sistema de alimentação foi implementado utilizando um conjunto de baterias recarregáveis do tipo 18650, organizadas em pack de 14,8 V e capacidade de 2600 mAh, associado a um módulo Battery Management System (BMS) responsável pelo gerenciamento de carga e proteção elétrica do circuito, sendo a recarga realizada por meio de conector USB tipo C.

As interligações elétricas foram executadas utilizando cabos flexíveis de 24 AWG (American Wire Gauge), organizados com conectores do tipo KK macho e fêmea, além de bornes destinados à distribuição elétrica entre os módulos do sistema. O esquema eletrônico empregado na integração dos componentes foi desenvolvido com o auxílio do software KiCad, sendo disponibilizado no Apêndice A.

Foram incorporados elementos auxiliares, como LED indicador de funcionamento, buzzer para sinalização sonora e circuito de acionamento por relé, possibilitando o monitoramento do estado do sistema e o controle da alimentação dos módulos.

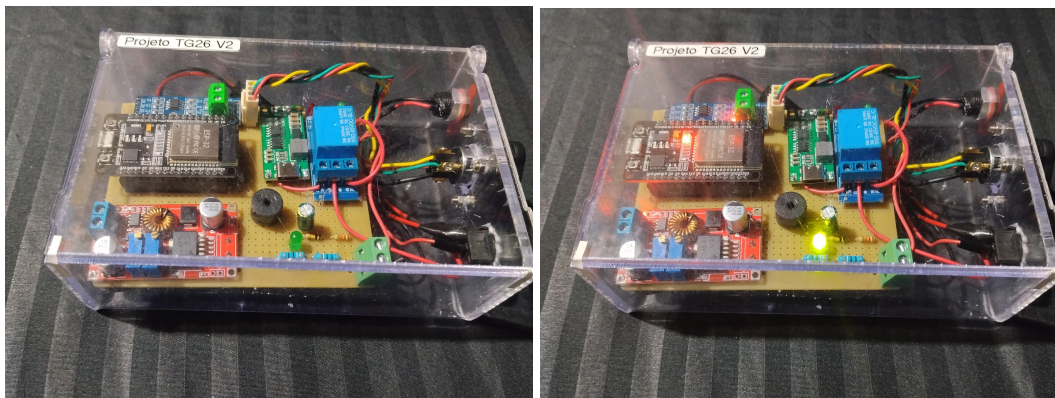
Além do circuito de alimentação principal, foi implementado um mecanismo de isolamento elétrico durante o processo de recarga das baterias. Quando um carregador é conectado à porta USB-C, o circuito detecta automaticamente a presença da alimentação externa e energiza o módulo de relé.

Nessa condição, o contato é comutado para a posição normalmente aberta (NA), desconectando os demais módulos eletrônicos do sistema e permitindo que apenas o conjunto de baterias seja carregado. Essa solução evita que o sistema permaneça alimentado durante a recarga, reduzindo o consumo de energia, aumentando a segurança da operação e contribuindo para a proteção dos componentes eletrônicos.

A montagem estrutural do protótipo foi realizada sobre placa de fenolite perfurada, permitindo a fixação dos componentes e organização das conexões internas, enquanto todo o conjunto foi acondicionado em caixa acrílica com tampa e complementado por conectores

elétricos à prova d'água, proporcionando maior proteção mecânica e adequação às condições de utilização em ambiente náutico como mostra figura 1.

Figura 1 - Montagem Ligada e desligada.

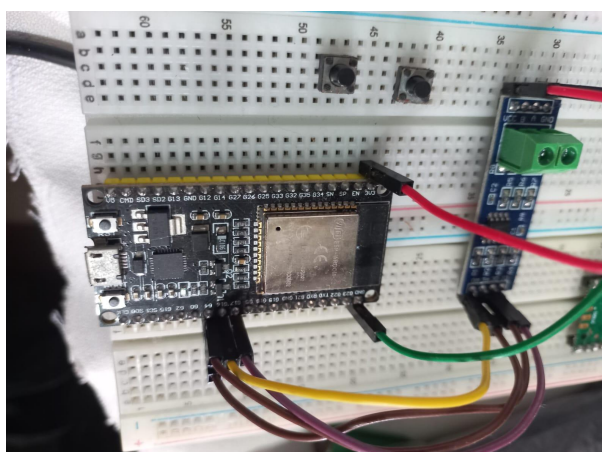


Fonte: Autoria Própria.

6.2 Identificando e adquirindo os dados

A primeira montagem do sistema foi realizada com o objetivo de estabelecer a comunicação entre o sensor anemométrico e o microcontrolador ESP 32, permitindo a obtenção inicial dos dados fornecidos pelo sensor, as linhas A e B do módulo foram conectadas às saídas de comunicação diferencial do anemômetro, identificadas como “*Data A*” e “*Data B*”, responsáveis pela transmissão dos dados utilizando o protocolo *Modbus RTU*, os pinos DE (*Driver Enable*) e RE (*Receiver Enable*) foram utilizados para controle dos modos de transmissão e recepção do módulo conversor, permitindo alternar entre envio e recebimento de dados durante a comunicação serial, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Montagem de teste.



Fonte: Autoria Própria.

A comunicação implementada opera em modo half duplex, característica típica da interface RS-485, na qual transmissão e recepção compartilham o mesmo barramento físico, porém não ocorrem simultaneamente. Essa configuração permitiu ao microcontrolador realizar a leitura dos registradores do sensor e obter as informações relacionadas à velocidade e direção do vento.

Durante a implementação da comunicação com o anemômetro, foi desenvolvido um código de varredura para leitura dos registradores do sensor via protocolo Modbus RTU. Esse procedimento permitiu identificar os registradores utilizados pelo dispositivo para armazenamento das informações de medição. Os registradores identificados durante os testes podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Registradores *Modbus* do anemômetro.

Registrador	Descrição
Registrador 0	Velocidade Instantânea (m/s x10)
Registrador 1	Velocidade Média (m/s)
Registrador 2	Direção (graus ×10)
Registrador 3	Setor Direcional (0–15)

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 3 apresenta o resultado obtido durante a execução da rotina de varredura, evidenciando a leitura dos registradores disponíveis e os valores retornados pelo sensor durante os testes.

Figura 3 - Resultado do scan.

```

----
Registrador 0 = 21
Registrador 1 = 2
Registrador 2 = 2043
Registrador 3 = 9
Registrador 4 = 0
Registrador 5 = 0
Registrador 6 = 0
Registrador 7 = 0
Registrador 8 = 0
Registrador 9 = 0
----

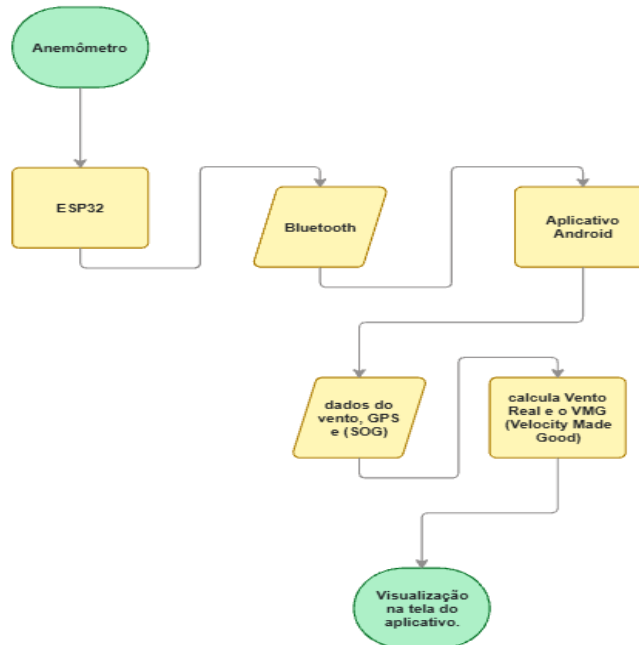
```

Fonte: Autoria própria.

7. Resultados obtidos

A partir da identificação desses registradores, foi possível implementar corretamente a rotina de aquisição dos dados utilizados pelo sistema, como na figura 4, assim como o funcionamento da parte que envolve o ESP 32, sensores e periféricos.

Figura 4 - Sequência de dados do projeto.



Fonte: Autoria própria.

Com o objetivo de validar o funcionamento do sistema em condições de variação da velocidade do vento, foi realizado um ensaio utilizando uma rajada de vento induzida sobre o anemômetro. Durante o teste, foram monitorados os valores retornados pelos registradores *Modbus* responsáveis pela velocidade e direção do vento. Conforme apresentado na Figura 5, observou-se um aumento significativo nos valores armazenados pelo sensor durante a aplicação da rajada, evidenciando a capacidade do sistema em detectar alterações nas condições de vento em tempo real.

Figura 5 - Leitura dos registradores durante ensaio de rajada de vento induzida.

```
Registrador 0 = 5
Registrador 1 = 1
Registrador 2 = 76
Registrador 3 = 0
Registrador 4 = 0
Registrador 5 = 0
Registrador 6 = 0
Registrador 7 = 0
Registrador 8 = 0
Registrador 9 = 0
----
Registrador 0 = 28
Registrador 1 = 2
Registrador 2 = 2
Registrador 3 = 0
Registrador 4 = 0
Registrador 5 = 0
Registrador 6 = 0
Registrador 7 = 0
Registrador 8 = 0
Registrador 9 = 0
```

Fonte: Autoria Própria.

Em uma das medições realizadas, o valor registrado no registrador correspondente à velocidade do vento passou de 5 para 28 unidades de medição fornecidas pelo sensor, demonstrando a resposta do sistema à variação aplicada. Os resultados obtidos indicam que a comunicação modbus, o processamento realizado pelo microcontrolador e a transmissão dos dados para o aplicativo móvel operaram adequadamente durante o ensaio, validando a capacidade do sistema de monitorar e disponibilizar informações de velocidade e direção do vento em condições dinâmicas de operação.

Após a validação da comunicação com o anemômetro, foram realizados testes de transmissão dos dados utilizando o bluetooth clássico integrado ao microcontrolador ESP 32, permitindo o envio das informações coletadas para dispositivos móveis. A integração dos componentes eletrônicos possibilitou os testes operacionais do protótipo, além da validação da comunicação entre os módulos empregados no sistema.

Simultaneamente ao desenvolvimento do hardware, foi realizado o estudo e desenvolvimento do aplicativo para a plataforma Android, utilizando a linguagem Kotlin no ambiente Android Studio. O aplicativo foi desenvolvido com o objetivo de receber, processar e exibir as informações obtidas pelo anemômetro, tornando-se a principal interface de visualização dos dados do sistema.

No aplicativo além da exibição das informações meteorológicas, o aplicativo realiza o processamento matemático dos dados adquiridos, utilizando a lei dos cossenos para estimar o vento real a partir da relação entre o vento aparente medido pelo sensor e a velocidade de deslocamento da embarcação, representada pela Speed Over Ground (SOG) obtida via

GPS. Essa abordagem permite analisar a interação entre o movimento do veleiro e as condições de vento, possibilitando a interpretação do comportamento do vento durante a navegação em tempo real e o apoio à análise de desempenho do sistema.

No contexto de análise de desempenho, também foi incorporado o conceito de Velocity Made Good (VMG) como métrica de eficiência de navegação, utilizado como referência para avaliar o quanto da velocidade da embarcação contribui efetivamente para o avanço em relação às condições de vento, servindo como indicador dinâmico de performance durante o percurso.

A determinação da intensidade e direção do vento real permitiu representar de forma mais adequada às condições ambientais durante a navegação. Com essas informações, associadas ao cálculo do VMG, tornou-se possível avaliar o aproveitamento efetivo do vento pela embarcação, relacionando as condições de vento observadas com o deslocamento realizado pelo veleiro.

O firmware embarcado do microcontrolador ESP 32 foi desenvolvido em linguagem C++, utilizando o framework Arduino por meio da Arduino IDE, sendo responsável pela aquisição dos dados do anemômetro, implementação das rotinas de comunicação modbus e transmissão dos dados via bluetooth para o aplicativo móvel.

Durante os testes de funcionamento do sistema embarcado, observou-se que as leituras fornecidas pelo anemômetro apresentavam oscilações e valores residuais, principalmente em condições de baixa velocidade do vento ou ausência de movimento, o que poderia comprometer a confiabilidade dos dados transmitidos.

Com o objetivo de melhorar a estabilidade das medições, foram implementadas técnicas de filtragem digital diretamente no firmware do ESP 32, utilizando filtros de média móvel e média exponencial (Exponential Moving Average – EMA), responsáveis por suavizar as variações das leituras e garantir uma transmissão mais estável e consistente das condições de vento para o aplicativo móvel, contribuindo para a melhoria da qualidade geral do sistema [20].

8. Considerações finais

Os resultados obtidos demonstraram o funcionamento adequado do sistema proposto, permitindo a aquisição, transmissão e processamento dos dados de velocidade e direção do vento em tempo real. A integração entre o anemômetro, o ESP 32, o GPS e o aplicativo Android possibilitou a determinação do vento real e o cálculo do VMG, fornecendo informações relevantes para a avaliação do aproveitamento do vento pela embarcação. Dessa forma, o sistema mostrou-se uma solução viável para apoio à navegação à vela,

contribuindo para o monitoramento das condições de vento e para a análise de desempenho durante a navegação. Como trabalhos futuros, sugere-se o armazenamento do histórico das medições e a implementação de métricas adicionais de desempenho para embarcações à vela.

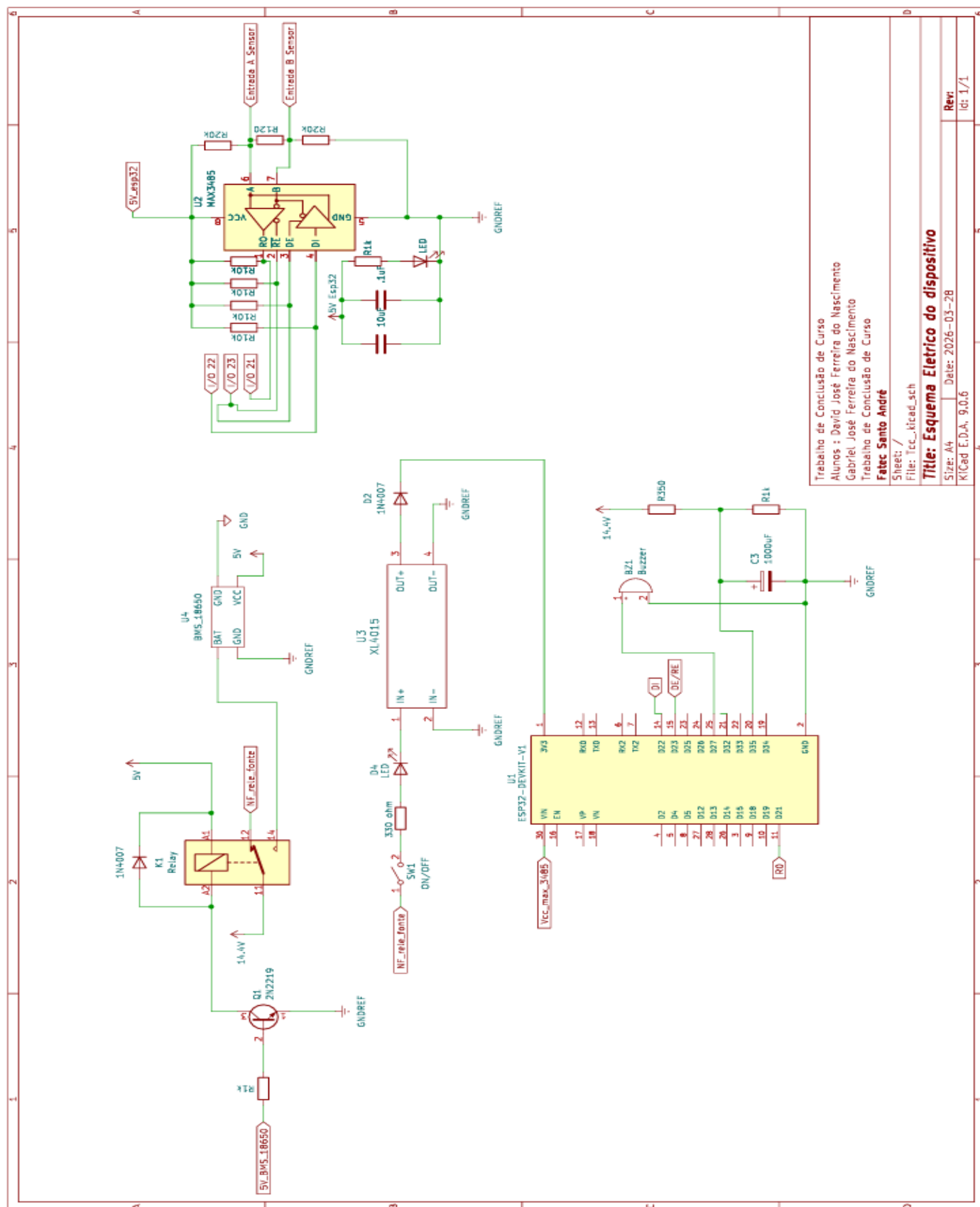
9. Referências

- [1] LEIVAS, J. F.; TEIXEIRA, H. A. de C.; ANDRADE, R. G. Agrometeorologia. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (org.). *Geotecnologias e geoinformação*. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p. 107–118. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988078>. Acesso em: 05 abr. 2026.
- [2] **NORTH SAILS.** *J/24 Tuning Guide*. Disponível em: <https://www.northsails.com/blogs/north-sails-blog/j24-tuning-guide-newport>. Acesso em: 26 abr. 2026.
- [3] **FERRUZZI, Yuri; GNOATTO, Estor; RICIERI, Reinaldo P.; JUNIOR, Miguel M.; OLIVEIRA, Adriana T. E. de.** Instrumento de mensurar a velocidade do vento. In: SIMPÓSIO DE ENERGIA NO MEIO RURAL (AGRENER), 5., 2004, Campinas. *Anais [...]*. Campinas: UNICAMP, 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v2/072.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2026.
- [4] **SILVA, K. S.; SILVA, R. B. da; GERON, L. C.** A importância da mecatrônica no cenário industrial atual. *SITEFA*, v. 5, n. 1, p. 110–118, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33635/sitefa.v5i1.218>. Acesso em: 30 maio 2026. .
- [5] **ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS.** *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 abr. 2026.
- [6] **DIAS, João Candido Marques.** *A implementação do e-navigation no Brasil: desafios, oportunidades e estratégias em benefício da segurança marítima na Amazônia Azul*. Rio de Janeiro: Escola de Guerra Naval, 2021. Disponível em: <https://repositorio.marinha.mil.br/handle/ripcmb/845208>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- [7] **DIAS, Rafael de Almeida.** *Tecnologias dos equipamentos voltados à navegação*. Rio de Janeiro: Escola de Guerra Naval, [s.d.]. Disponível em: <https://repositorio.marinha.mil.br/handle/ripcmb/843825>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- [8] **MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha.** *Manual do observador meteorológico*. Rio de Janeiro: CHM, [s.d.]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u1907/manual-observador-completo.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2026.
- [9] **BRASIL. Ministério da Educação.** *Instrumentação aplicada*. Rede e-Tec Brasil. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em:

- https://www.academia.edu/36131075/Instrumenta%C3%A7%C3%A3o_Aplicada. Acesso em: 27 abr. 2026.
- [10] **SANTOS, Maicon dos.** *Automação em navios mercantes*. Rio de Janeiro: Escola de Guerra Naval, 2018. Disponível em: <https://repositorio.marinha.mil.br/bitstream/ripcmb/844491/1/TCC-AUT%20REVISADO%2019.06.18.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2026.
- [11] **ESPRESSIF SYSTEMS.** *ESP32-WROOM-32 Datasheet*. 2023. Disponível em: https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 04 maio 2026.
- [12] **PROJEÇÃO CIÊNCIA.** *Aplicações de sistemas embarcados e Internet das Coisas*. Revista Projeção Ciência, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://projecaociencia.com.br/index.php/Projecao4/article/view/1357/1062>. Acesso em: 04 maio 2026.
- [13] **MODBUS ORGANIZATION.** *Modbus Application Protocol Specification V1.1b3*. Disponível em: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf. Acesso em: 04 maio 2026.
- [14] **MODBUS.ORG.** *Modbus over Serial Line Specification and Implementation Guide V1.02*. Disponível em: https://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf. Acesso em: 04 maio 2026.
- [15] **GOOGLE.** *Android Developers*. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://developer.android.com>. Acesso em: 04 maio 2026.
- [16] **JETBRAINS.** *Kotlin Programming Language*. Disponível em: <https://kotlinlang.org>. Acesso em: 04 maio 2026.
- [17] **BRASIL ESCOLA.** *Lei dos cossenos: o que diz, fórmula e exemplos*. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/matematica/lei-coseno.htm>. Acesso em: 18 maio 2026. u
- [18] **NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA).** *What is a nautical mile?* NOAA Ocean Service. Disponível em: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/nautical-mile-knot.html>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- [19] **VELA, et al.** *Analysis of performance variables in Olympic RS:X windsurfing using GPS-derived metrics under different wind conditions*. *Sensors (MDPI)*, v. 26, n. 11, 2026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/26/11/3312>. Acesso em: 30 maio 2026.
- [20] **INDUSTRIAL MONITOR DIRECT.** *Analysis of an Exponential Moving Average (EMA) Filter in Ladder Logic for Load Cell Signal Conditioning*. Disponível em:

<https://industrialmonitordirect.com/pt/blogs/knowledgebase/analysis-of-an-exponential-moving-average-ema-filter-in-ladder-logic-for-load-cell-signal-conditioni>. Acesso em: 30 maio 2026.

10. Apêndices



11. Anexos



CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

Faculdade de Tecnologia de Santo André

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 15 de junho de 2026.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VENTOS INTEGRANDO
ANEMÔMETRO E APLICATIVO ANDROID” DOS ALUNOS DO 6º
SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. LUIZ VASCO PUGLIA

MEMBROS:

NOME: Paulo Telsus Wacshi

Rel 7/2021

NOME: Wellington Batista de Jesus

ALUNOS:

GABRIEL JOSÉ FERREIRA

DAVID JOSÉ FERREIRA DO NASCIMENTO