

## ANÁLISE E APLICAÇÃO DE CIRCUITO RC COM BLINK PARA FILTRAGEM DE ENERGIA EM SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO

### ANALYSIS AND APPLICATION OF RLC CIRCUIT FOR POWER FILTERING IN MICROGENERATION SYSTEMS

Michael Owen Oliveira Corrêa<sup>1</sup>  
Pedro Henrique dos Santos Silva<sup>2</sup>  
Francisco Daniel Coqueiro Cavalcante<sup>3</sup>  
Ivan Duarte Santos Neto<sup>4</sup>  
Kauã da Silva Abreu Magalhães<sup>5</sup>  
Jonathan Araújo Queiroz<sup>6</sup>

**RESUMO:** A crescente demanda pela utilização de fontes de energia sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento da microgeração eólica, e ela tem enfrentado desafios relacionados a variação constante do vento que torna o sinal elétrico instável e com uma menor qualidade. Dessa forma o presente artigo apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um sistema de microgeração eólica utilizando um aerogerador com motor DC, aliado a um circuito RC de filtragem, com o objetivo de estabilizar o sinal elétrico gerado e proteger dispositivos como LEDs e baterias. A pesquisa utilizou uma abordagem metodológica mista, com o estudo de caso para contextualizar a aplicação prática do sistema de filtragem e a metodologia experimental para validar, por meio de testes controlados, a eficácia do circuito proposto. O circuito foi dimensionado, simulado e testado em plataformas como Tinkercad e Falsted, permitindo observar a resposta em um gráfico o comportamento do sinal em tempo real. Além disso, foi implementado um sistema de monitoramento remoto através da plataforma Blynk IoT, possibilitando a coleta e visualização contínua dos parâmetros de tensão, corrente e potência. Os resultados experimentais demonstraram que o uso do filtro RC reduziu significativamente as oscilações de tensão, proporcionando maior estabilidade ao sistema e funcionamento contínuo do LED indicador.

6228

**Palavras-chave:** Circuito RC. Energia eólica. Sinal elétrico. Aerogerador. Blynk IoT.

**ABSTRACT:** The growing demand for the use of sustainable energy sources has driven the development of micro wind power generation, which faces challenges related to the constant variation of wind, leading to an unstable electrical signal and reduced quality. Thus, the present article introduces the development and evaluation of a micro wind power generation system utilizing a DC motor wind turbine coupled with an RC filtering circuit, aiming to stabilize the generated electrical signal and protect devices such as LEDs and batteries. The research employed a mixed-methods approach, utilizing a case study to contextualize the practical application of the filtering system and an experimental methodology to validate, through controlled tests, the effectiveness of the proposed circuit. The circuit was designed, simulated, and tested on platforms such as Tinkercad and Falsted, allowing for real-time observation of the signal behavior on a graph. Furthermore, a remote monitoring system was implemented using the Blynk IoT platform, enabling continuous data collection and visualization of voltage, current, and power parameters. The experimental results demonstrated that the use of the RC filter significantly reduced voltage oscillations, providing greater system stability and continuous operation of the indicator LED.

**Keywords:** RC circuit. Wind energy. Electrical signal. Wind turbine. Blynk IoT.

<sup>1</sup>Graduando em engenharia de computação, Universidade CEUMA.

<sup>2</sup>Graduando em engenharia de computação, Universidade CEUMA.

<sup>3</sup>Graduando em engenharia de computação, Universidade CEUMA.

<sup>4</sup>Graduando em engenharia de computação, Universidade CEUMA.

<sup>5</sup>Graduando em engenharia de computação, Universidade CEUMA.

<sup>6</sup>Docente da Universidade CEUMA.

## I INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes alternativas de energia elétrica e a necessidade de reduzir os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis têm impulsionado o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, como os sistemas de geração eólica em pequena escala. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), a energia eólica representa uma das principais fontes renováveis em expansão no mundo, sendo responsável por aproximadamente 20% da geração elétrica renovável global. No Brasil, de acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024), a energia eólica já corresponde a cerca de 13% da matriz elétrica nacional, consolidando-se como uma alternativa viável e limpa para a geração de eletricidade.

Apesar dos avanços, a aplicação de sistemas de microgeração eólica, especialmente em contextos educacionais e experimentais, ainda enfrenta desafios técnicos, como a instabilidade da tensão gerada e a dificuldade em manter a qualidade do sinal elétrico. Conforme apontam Boylestad e Nashelsky (2019), flutuações de tensão e ruídos provenientes de fontes de energia variáveis podem afetar significativamente o desempenho de circuitos eletrônicos sensíveis, como LEDs, sensores e microcontroladores.

Nesse contexto, os filtros passivos, como o circuito RC (resistor-capacitor), tornam-se ferramentas essenciais para o condicionamento do sinal, reduzindo oscilações e atenuando variações indesejadas de corrente e tensão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). A aplicação desse tipo de filtragem é fundamental em sistemas de microgeração, pois garante maior estabilidade elétrica, prolongando a vida útil dos componentes e assegurando o funcionamento adequado de dispositivos eletrônicos conectados à saída do gerador.

Com base nessa problemática, este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um circuito RC aplicado à filtragem do sinal elétrico gerado por um aerogerador de pequeno porte, utilizando um motor DC como conversor eletromecânico. O sistema inclui ainda um LED indicador (blink) para representar visualmente a estabilidade do sinal e um painel de monitoramento remoto baseado na plataforma Blynk IoT, que permite a coleta e análise em tempo real de parâmetros como tensão, corrente e potência.

A pesquisa foi conduzida com base em uma abordagem metodológica mista, integrando o estudo de caso para analisar o comportamento do sistema em um cenário real de microgeração e a metodologia experimental, utilizada para validar, de forma controlada, a eficácia do circuito

RC. Essa combinação metodológica permite correlacionar a teoria dos filtros passivos com a prática experimental, evidenciando o impacto da filtragem na qualidade da energia gerada.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta os trabalhos relacionados e o embasamento teórico sobre microgeração e filtragem RC; o capítulo 3 descreve a metodologia aplicada, incluindo o dimensionamento, montagem e testes do circuito; o capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e as análises correspondentes; e, por fim, o capítulo 5 expõe as conclusões e sugestões para trabalhos futuros, destacando a relevância da filtragem RC no aprimoramento da qualidade da energia em sistemas eólicos de baixa potência.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

A qualidade da energia elétrica em sistemas de geração distribuída, especialmente em microgeração eólica, tem sido objeto de diversas pesquisas científicas. A variabilidade natural da velocidade dos ventos gera oscilações de tensão e corrente, além de ruídos eletromagnéticos que comprometem a estabilidade e o rendimento do sistema. Para mitigar esses efeitos, diferentes abordagens têm sido estudadas, incluindo o uso de filtros passivos RLC e filtros híbridos acoplados a conversores eletrônicos.

Este capítulo apresenta três estudos que exploram filtragem e condicionamento de energia em sistemas de geração eólica, destacando suas contribuições e limitações. Embora cada pesquisa adote metodologias e aplicações específicas, todas enfatizam a importância de técnicas adequadas de filtragem para assegurar a qualidade da energia fornecida.

6230

### 2.1 Filtragem Harmônica em Sistemas Eólicos

O artigo *Harmonic Reduction of a Synchronous Generator in a Wind Energy System* (Kamoona et al., 2021) investigou a aplicação de filtros passivos do tipo RLC para atenuar harmônicas geradas por turbinas eólicas com gerador síncrono. A pesquisa demonstrou redução significativa na distorção harmônica total (THD), resultando em maior estabilidade do sistema e melhoria da qualidade da energia entregue à carga.

Apesar da eficácia, o estudo concentrou-se em turbinas de maior porte e em aplicações industriais, não abordando sistemas compactos ou aplicações portáteis, como a microgeração para carregamento de baterias e dispositivos móveis.

## 2.2 Filtros Passivos em Ambientes Industriais

O estudo *Single-tuned passive filter (STPF) for mitigating harmonics of a three-phase plastic processing industry power system* (Ishaya et al., 2023) analisou a implementação de filtros RLC em instalações industriais com cargas não lineares. O filtro reduziu o THD e garantiu conformidade com a norma IEEE 519-2022.

Embora relevante, o foco industrial e o alto nível de potência diferem de sistemas de microgeração eólica. Além disso, o estudo prioriza a correção harmônica em cargas industriais, e não a suavização de oscilações provenientes da conversão de energia em aerogeradores de pequeno porte.

## 2.3 Filtragem Integrada a Conversores em Geração Eólica

O artigo *Modeling and analysis of the LC filter-integrated quasi Z-source indirect matrix converter for the wind energy conversion system* (Maheswari et al., 2023) propôs um filtro LC acoplado a conversores de potência para reduzir oscilações e melhorar o desempenho em geração eólica. A pesquisa demonstrou aumento da eficiência e redução significativa de ruídos elétricos. No entanto, o estudo aborda sistemas mais complexos e de maior potência, focando em topologias avançadas de conversores. Não considera soluções compactas e de menor custo para aplicações educacionais ou de pequeno porte, como microgeradores para ambientes domésticos.

6231

## 2.4 Diferencial do Trabalho

Este artigo propõe o desenvolvimento e a análise de um circuito RLC simples e de baixo custo para condicionamento de energia em microgeradores eólicos, com foco em aplicações de pequena escala, como o carregamento de baterias e dispositivos móveis.

Comparado aos trabalhos revisados:

1. **Filtragem Harmônica em Sistemas Eólicos:** Em vez de focar em sistemas de grande porte, este trabalho aplica a filtragem RLC em aerogeradores compactos, voltados para uso educacional e residencial.
2. **Filtros Passivos Industriais:** Enquanto os estudos existentes priorizam sistemas trifásicos industriais, a solução aqui apresentada é projetada para baixa potência, garantindo maior acessibilidade e replicabilidade.
3. **Filtragem Integrada a Conversores Avançados:** Diferentemente de abordagens baseadas em eletrônica de potência complexa, este projeto explora uma solução simples, prática

e eficiente, acessível a estudantes e makers, com foco no aprendizado e na funcionalidade básica de filtragem.

Assim, este trabalho preenche uma lacuna na literatura ao abordar o uso de filtros RLC para microgeração eólica de baixo custo, propondo uma solução compacta e eficaz para estabilização de energia em cargas sensíveis.

### 3 MÉTODOS

O presente projeto visa o desenvolvimento e a avaliação do circuito RC aplicado à filtragem de energia elétrica que é gerada por meio de um aerogerador, foi utilizada uma metodologia mista detalhada, que envolveu o dimensionamento, montagem e testes do circuito.

#### 3.1 Tipo de pesquisa

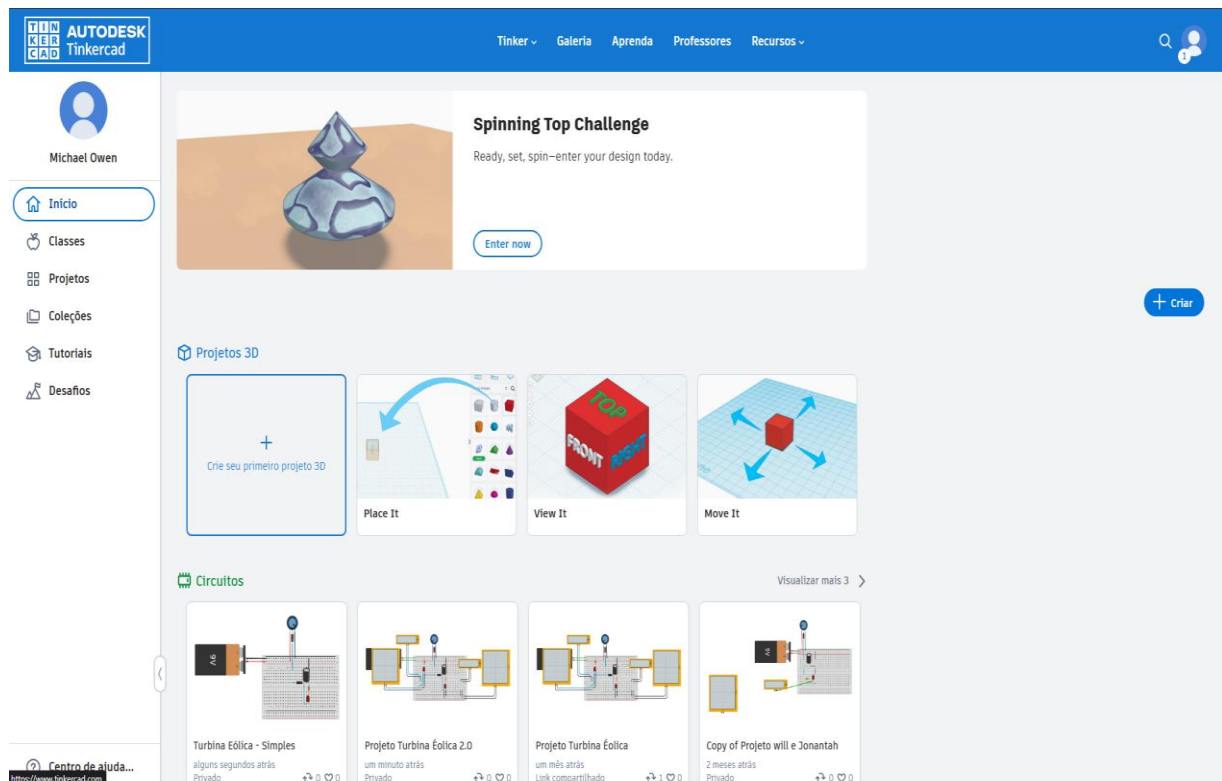
A pesquisa utiliza uma abordagem metodológica mista, estudo de caso instrumental para aprofundar o contexto da aplicação e a metodologia experimental para validar de forma controlada a solução proposta. O estudo de caso tem como foco a análise de um sistema de microgeração assim como o e seu impacto em cargas eletrônicas sensíveis, representadas pelos LEDs. Já a metodologia experimental objetiva validar a eficácia da criação de um filtro passivo baseado em circuito do tipo RC, por meio de testes práticos controlados, estabelecendo uma relação causal entre a inserção do filtro e a melhora na qualidade da energia.

6232

#### 3.2 Tinkercad

A plataforma é descrita oficialmente pela própria Autodesk, empresa proprietária e responsável pelo desenvolvimento e manutenção dela, como uma plataforma online gratuita voltada para a criação de designs em 3D, projetos de eletrônica e programação, sendo também extremamente utilizada por estudantes, educadores e profissionais durante o de prototipagem, simulação de circuitos e aprendizado das ciências exatas. Segundo seu site oficial, esta ferramenta permite a criação, simulação e compartilhar os projetos de modelagem tridimensional, montagem eletrônica e desenvolvimento de código, é considerada com uma "porta de entrada ideal para projetos STEM e para estimular a confiança em ciência e engenharia".

**Figura 1:** Dashboard da plataforma Tinkercad.

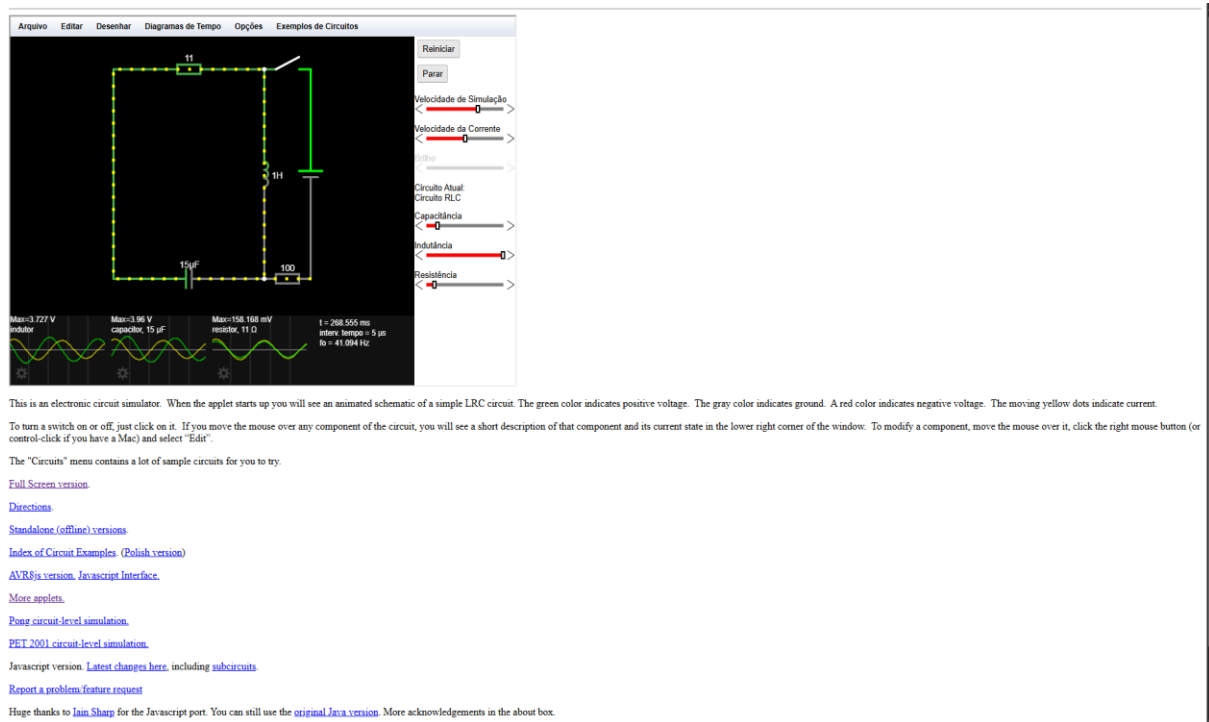


Fonte: Autoral, 2025.

### 3.3 Falsted

A plataforma criada por Paul Falstad, é uma ferramenta online gratuita para que seja simulado e visualizado de forma interativa circuitos eletrônicos, muito utilizada durante o processo de aprendizagem de eletricidade e eletrônica. Segundo Silva (2021) e relatório da CAPES (2020), o simulador possui uma interface simples e animada que permite o usuário montar, testar e analisar os mais diferentes circuitos em tempo real de forma dinâmica e visual, assim facilitando a compreensão dos fenômenos elétricos que seriam difíceis de se visualizar em experimentos tradicionais, como o fluxo da corrente e a resposta transitória de componentes (SILVA, 2021).

**Figura 2:** Dashboard da plataforma Falsted.



**Fonte:** Autoral, 2025.

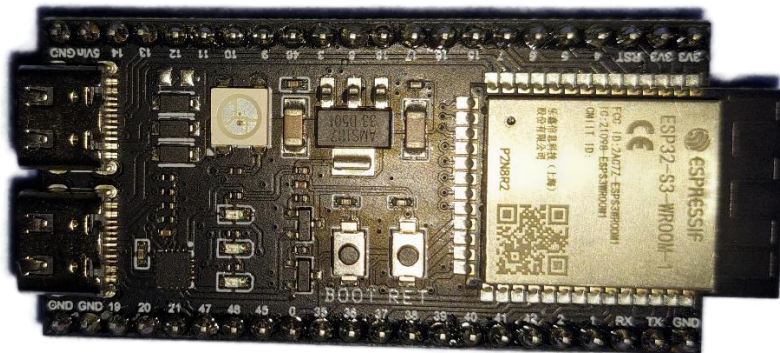
### 3.4 ESP32

O ESP32 é um microcontrolador altamente integrado que muito se destaca no contexto de IoT (internet das coisas) justamente por permitir a combinação de recursos de processamento robustos com comunicação sem fio essenciais (SANTOS, 2025). Foi desenvolvida pela empresa Espressif Systems (ESPRESSIF, 2023), este *System on Chip* (SoC) se diferencia no mercado por integrar um processador dual-core de alto desempenho com conexão Wi-Fi e Bluetooth Low Energy (BLE) em um único encapsulamento de baixo consumo energético. Dessa forma se torna uma escolha preferencial para o desenvolvimento de soluções dos mais diferentes tipos, desde sistemas de automação e controle industrial (RAMOS et al., 2025) até a aplicações de monitoramento remoto de baixo custo em ambientes críticos (DAMACENO; FUNG; SARTORI, 2024). Sua versatilidade permite seu uso em ambientes de desenvolvimento populares como a IDE do Arduino, dessa forma facilitando sua adoção e consolidação de sua relevância no panorama da computação embarcada.

Em conjunto ao Esp32 foi a protoboard, ou também chamado de matriz de contatos, foi uma ferramenta em eletrônica fundamental para o projeto. Usada principalmente para teste rápido de circuitos eletrônicos de forma fácil e temporária sem a necessidade de utilização de

solda. Em essência é uma placa de plástico que possui pequenos furos interconectados internamente por trilhos metálicos. Dessa forma é possível inserir e interligar terminais de componentes eletrônicos, como resistores, capacitores e indutores, usando pequenos fios, facilitando sua montagem e modificação. Além disso foi usado um motor de corrente contínua (DC) de forma inversa, ou seja, como um gerador eletromecânico ao converter energia cinética em elétrica por meio da indução (FITZGERALD; KINGSLEY; KUSKO, 2003).

**Figura 3:** Microcontrolador ESP32 S3

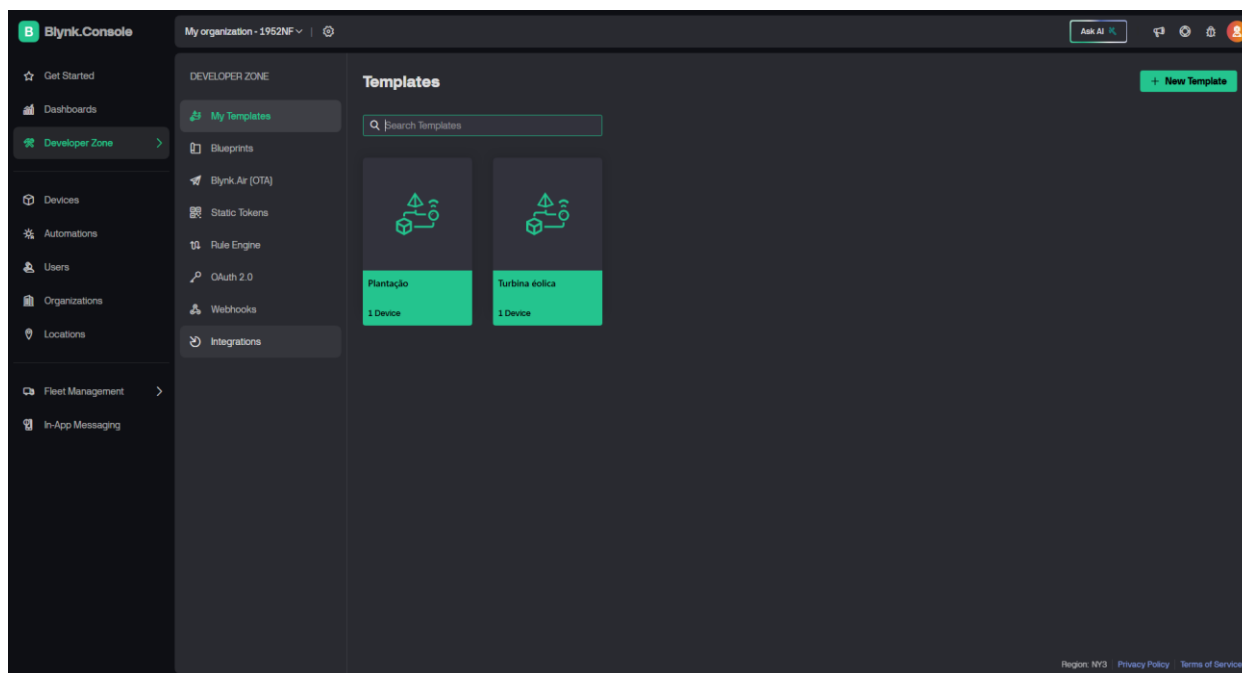


**Fonte:** Autoral, 2025.

### 3.5 Blynk

A plataforma Blynk é definida com o uma plataforma unificada de internet das coisas (IoT) que possui como objetivo facilitar a conexão, implementação e gestão de dispositivos inteligentes em larga escala (BLYNK, [s.d.]). Sendo assim sua arquitetura é composta de 3 componentes chave: Blynk App (aplicativo para aparelhos móveis), Blynk server (o elo de comunicação em nuvem) e Blynk Libraries (bibliotecas de software para integração com hardware embarcado, como o ESP32) (SERRANO et al., 2018). Dessa forma é oferecido um ambiente low-code que simplifica o processo de desenvolvimento backend de projetos, criando dashboard para monitoramento em tempo real de sensores e o controle de atuadores, acelerando de forma significativa o ciclo de prototipagem em aplicações de automação.

Figura 4: Dashboard da plataforma Blynk.



Fonte: Autoral, 2025.

### 3.6 Dimensionamento dos componentes

Para realizar o dimensionamento dos componentes resistivos e capacitivos foi-se baseado nos princípios físicos da resposta em frequência típicos de circuitos RC, com base na literatura clássica (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2007). O potenciômetro de 10 k $\Omega$  permite a simulação variações na tensão da fonte (que seria o aerogerador variando conforme a força dos ventos), enquanto resistores de 330  $\Omega$  e 360  $\Omega$  são utilizados para proteção dos LEDs e controle de corrente.

### 3.7 Montagem e instrumentação

A montagem do circuito físico foi realizada usando uma protoboard para que fosse flexível aos ajustes e medições. A bateria (5V) simulou a saída do aerogerador, e o potenciômetro suas variações advindas das diferentes condições de vento. Foi utilizado um multímetro digital para medições pontuais de tensão e corrente, e um osciloscópio para analisar de forma detalhada as formas das ondas nos pontos de entrada e saída do filtro.

### 3.8 Procedimentos experimentais

Foi realizado diferentes testes e registrado a resposta do circuito em diferentes condições:

Modificando a tensão de entrada ao modificar a resistência do potenciômetro em seus níveis baixos, médios e altos.

Monitoramento da tensão e corrente no circuito, com e sem o filtro RLC.

Observação qualitativa do comportamento de cada LED (o que está dentro e o que está fora do circuito), indicando estabilidade ou oscilações do sinal.

Medição do tempo de descarga do capacitor após desligamento da fonte para avaliar a capacidade de retenção do filtro.

### 3.9 Análise dos dados

Os dados quantitativos obtidos foram organizados em tabelas (que pode ser observada no próximo tópico, Resultados), e pode-se observar uma redução das variações e oscilação de tensão com a utilização do circuito RLC. Dessa forma, a análise qualitativa com observação do estado dos LEDs permitiu validação dos efeitos da filtragem feita pelo circuito, associando resultados visuais às medições instrumentais.

## 4 RESULTADOS

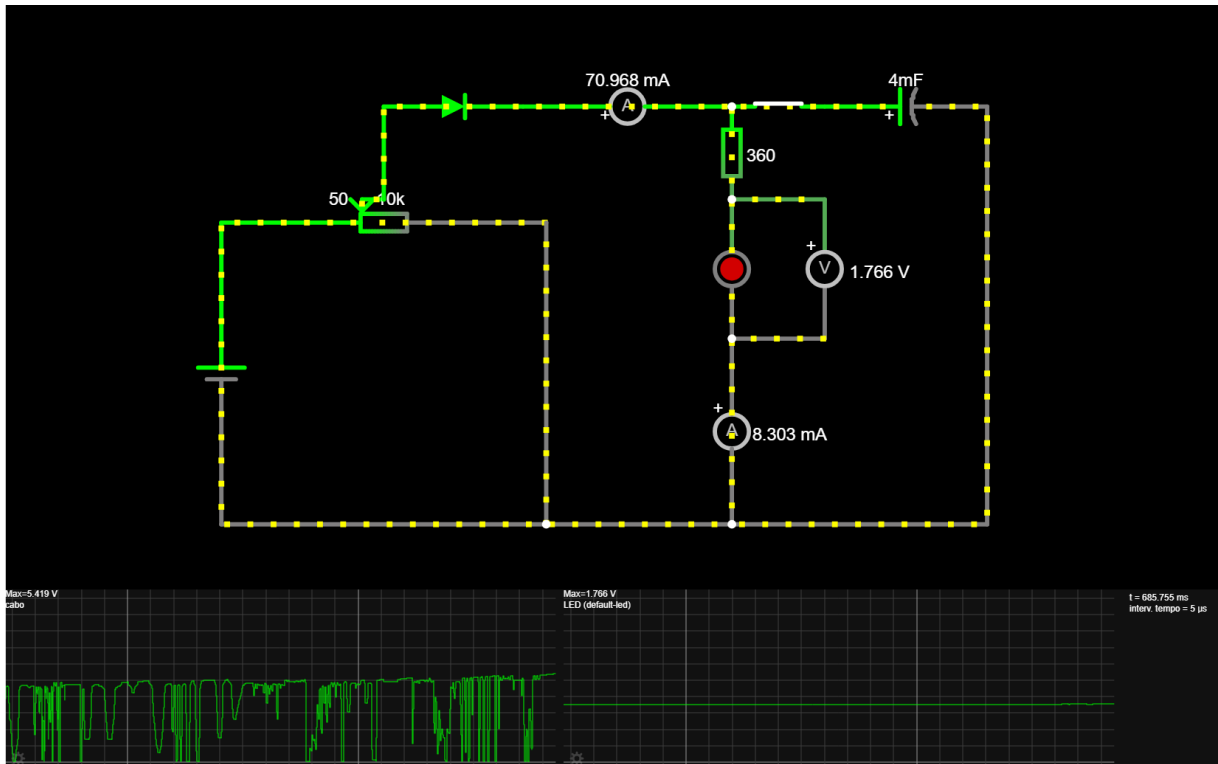
Neste tópico, será apresentado e discutido os resultados obtidos com a implementação do circuito RC para filtragem da energia em sistema de microgeração eólica. A análise envolve medições elétricas quantitativas, observações qualitativas do comportamento das cargas e pôr fim a avaliação da estabilidade de tensão e corrente no circuito antes e após o uso do filtro RC.

6237

### 4.1 Montagem do circuito no falstad

Para montar o circuito no falstad precisaremos simular um gerador eólico, pois o simulador também não um, então utilizaremos uma fonte de tensão de 9V e um potenciômetro de 10KΩ para simular de forma manual a variação de tensão do gerador, após isso colocaremos um led, um sendo filtrado, para ver o resultado visualmente o funcionamento do filtro, como mostrado na figura 1.

Figura 5: Circuito RC falstad.



Fonte: Autoral, 2025.

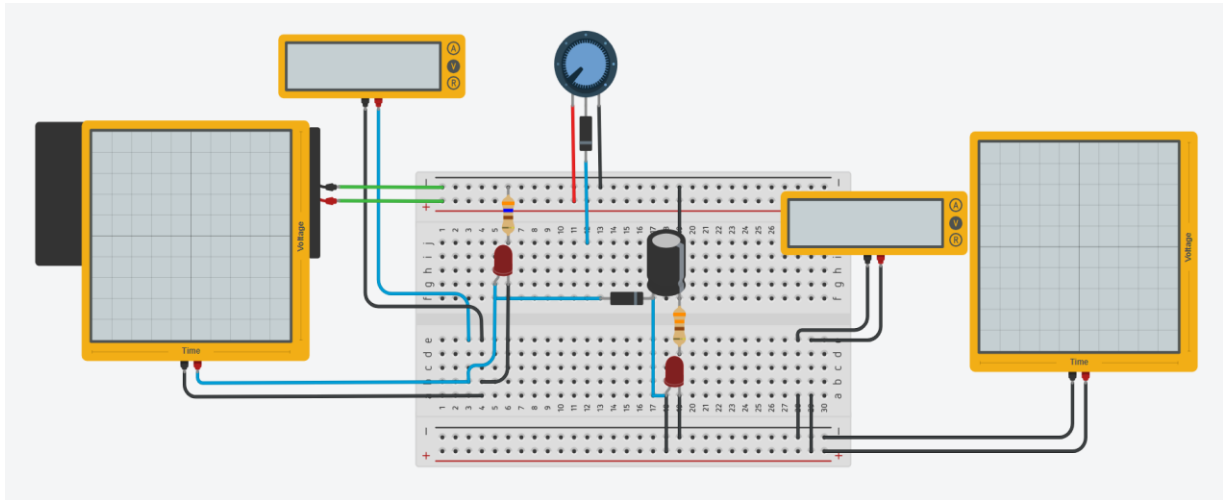
Como visto acima na figura 1, a ferramenta possui um osciloscópio que ajuda a ter uma visão gráfica da variação de tensão, o gráfico da esquerda representa a tensão do gerador, enquanto o gráfico da direita representa a tensão no LED após a filtro RC com um registro de  $360\Omega$  e capacitor de  $4mF$ . 6238

Com isso a simulação pôde demonstrar, de forma visual e descomplicada, que o filtro não só permite a estabilização do sinal, como também permite que o LED, um componente eletrônico que é sensível, permaneça aceso de forma contínua (sem cintilação ou interrupção), indicando a supressão de transientes e oscilações. Desta forma, a simulação no Falstad oferece uma validação inicial da eficácia do filtro RC no contexto de proteção de cargas eletrônicas sensíveis a flutuações de tensão.

#### 4.2 Montagem do circuito no tinkercad

Para montagem do circuito no tinkercad, como mencionado antes, precisaremos simular um gerador eólico, pois o simulador também não possui um, então utilizaremos uma fonte de tensão de  $9V$  e um potenciômetro de  $10K\Omega$  para simular de forma manual a variação de tensão do gerador, após isso colocaremos dois leds, um sendo filtrado e outro não, para ver o resultado visualmente o funcionamento do filtro, com isso temos o circuito na figura 2.

**Figura 6:** Circuito RC tinkercad.



**Fonte:** Autoral, 2025.

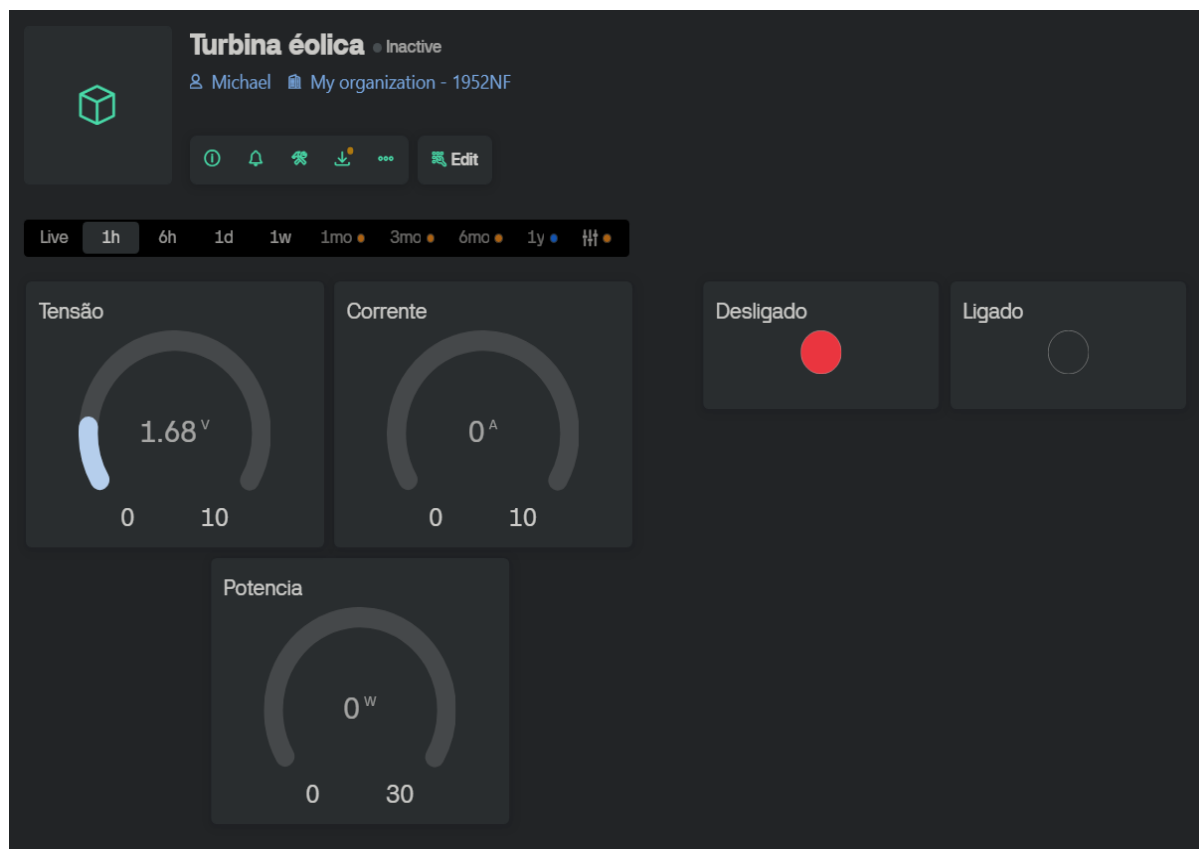
Durante a simulação, observou-se que o LED conectado ao circuito sem o filtro RC apresentou variações perceptíveis de luminosidade conforme a tensão era alterada pelo potenciômetro, representando as oscilações comuns da energia gerada por um aerogerador. Já o LED conectado ao circuito filtro RC com capacitor agora de 10mF e registro de 330Ω manteve uma iluminação mais estável, evidenciando a eficiência do capacitor na suavização das flutuações de tensão. Esse comportamento confirma a função do filtro RC na estabilização do sinal elétrico, tornando-o mais adequado para alimentar circuitos sensíveis ou sistemas de controle.

6239

#### 4.3 Tensão no Blynk

Para complementar a análise experimental, foi implementado o monitoramento remoto do sistema utilizando a plataforma Blynk IoT, conforme apresentado na Figura 3. A interface foi configurada para exibir em tempo real os valores de tensão (V), corrente (A) e potência (W) gerados pelo circuito, permitindo acompanhar o comportamento elétrico do sistema de forma contínua. Além disso, foram adicionados dois botões de status — “Ligado” e “Desligado” — para indicar o estado operacional do gerador.

**Figura 7:** Circuito RC tinkercad.



**Fonte:** Autoral, 2025.

Durante os testes, a plataforma se mostrou uma ferramenta eficiente para a coleta e visualização dos dados, oferecendo um painel intuitivo e responsivo. A leitura dos sensores demonstrou coerência com as medições locais realizadas por instrumentos físicos, validando o uso do Blynk como uma interface confiável para análise remota. Com o monitoramento ativo, foi possível identificar variações sutis na tensão e na corrente, que refletiram diretamente as alterações simuladas no potenciômetro do circuito, representando as diferentes intensidades do vento.

Os testes demonstraram que, sem o filtro RC, o LED conectado à saída do aerogerador apresentou apagões e oscilações bem perceptíveis, em especial durante variações bruscas de tensão simuladas pela utilização do potenciômetro. A seguir uma tabela com os diferentes comportamentos observados pelo LED visto a variação da sua fonte.

**Tabela 1:** Comportamento do LED de acordo com a variação da fonte.

Condição do Potenciômetro	Tensão de Entrada (V)	Estado do LED Sem Filtro	Estado do LED Com Filtro
Varição rápida (subida)	0 → 5,0	Apagado/Piscando	Aceso (estável)
Varição rápida (descida)	5,0 → 0	Aceso/Piscando	Apagado(estável)
Fonte desligada/filtro	0	Apagado (imediate)	Apaga após 30s

**Fonte:** Autoral, 2025.

Com a utilização do filtro RLC, o LED conseguiu permanecer aceso de forma contínua e estável, mesmo frente a variações da fonte. Essas observações qualificam a eficácia do filtro na atenuação de ruídos e picos de tensão.

#### 4.4 Dados de medição

A seguir alguns dados do circuito que puderam ser observados:

Tensão mínima para funcionamento estável da carga: aproximadamente 1,8 V.

Tensão máxima observada na saída do filtro: cerca de 4,2 V.

Corrente na carga se manteve em torno de 1 mA durante os testes.

O tempo para a descarga do capacitor após desligamento da fonte foi de aproximadamente 30 segundos, indicando uma capacidade de retenção energética satisfatória.

A forma de onda analisada revelou uma diminuição significativa na oscilação da tensão na saída do filtro, se comparada à entrada que sofre uma grande oscilação.

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que o circuito RC aplicado ao sistema de geração eólica com motor DC apresentou desempenho satisfatório na filtragem da tensão gerada, garantindo maior estabilidade elétrica durante o processo de conversão de energia. O circuito permitiu reduzir oscilações e ruídos provenientes das variações de velocidade do vento, proporcionando uma saída de tensão mais contínua e segura para uso em pequenas cargas eletrônicas. Dessa forma os dados obtidos corroboram com uso de filtros passivos em

microgeração renovável, conforme relatado por Dorneles (2008) e Bonelli (2010), sendo assim essenciais para garantir a qualidade na alimentação de dispositivos eletrônicos.

Durante os testes experimentais, observou-se que a integração do sistema de filtragem RC com o motor DC operando como gerador foi eficaz para suavizar picos de tensão e minimizar perdas de energia. A utilização do microcontrolador com o recurso Blink auxiliou na verificação do funcionamento e resposta do circuito, servindo como indicador visual do comportamento elétrico durante a geração. Essa abordagem prática favoreceu uma melhor compreensão do desempenho do circuito em tempo real.

Ao comparar os resultados com métodos tradicionais de filtragem, verificou-se que o circuito RC apresentou vantagens por sua simplicidade, baixo custo e fácil implementação. Mesmo em condições de variação da velocidade do vento, o sistema manteve estabilidade aceitável, o que demonstra sua viabilidade em projetos de pequeno porte ou experimentais voltados à geração de energia sustentável.

De modo geral, o estudo comprovou que a associação entre a metodologia experimental e o estudo de caso foi adequada para avaliar o comportamento do circuito RC no contexto de um aerogerador com motor DC. A aplicação prática permitiu validar os conceitos teóricos de filtragem e demonstrar sua importância para o aprimoramento da qualidade da energia gerada.

6242

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de filtragem RLC de baixo custo aplicado a geradores eólicos compactos. Como pôde ser observado a literatura atual tem uma lacuna em que majoritariamente há apenas o foco da criação de filtros para sistema de grande porte, ou sistemas trifásicos ou que possuem uma eletrônica complexa voltados para um meio industrial. Ao contrário dessas abordagens esta pesquisa visa apresentar uma solução simples, prática e altamente replicável, tendo como um foco ser utilizada para a microgeração de baixa potência com propósitos e aplicações educacionais e residenciais. Assim o estudo oferece uma proposta compacta e eficaz para que seja feita a estabilização da energia em cargas sencíveis, tornando a funcionalidade básica de filtragem simples e acessível a estudante e entusiastas.

Contudo, alguns desafios foram identificados. Entre eles, destaca-se a limitação do circuito em lidar com cargas de maior potência, o que restringe sua aplicação a sistemas de baixa escala. Além disso, pequenas variações nos componentes, como tolerâncias do resistor e capacitor, influenciaram diretamente a eficiência da filtragem, o que indica a necessidade de maior precisão na escolha dos materiais e calibração dos valores.

Trabalhos futuros podem incluir o uso de filtros ativos, capacitores de maior capacidade e sistemas de controle eletrônico mais avançados, visando aumentar a eficiência e estabilidade da geração elétrica. Além disso, a integração de sensores e sistemas de monitoramento digital pode otimizar o desempenho e permitir análises mais detalhadas sobre o comportamento do circuito em diferentes condições de vento.

## 6 CONCLUSÃO

O projeto apresentado teve como objetivo realizar o desenvolvimento, assim como a avaliação da aplicação de um circuito de filtragem passiva do tipo RC aplicada dentro do contexto do condicionamento de um sinal elétrico gerado por um gerador eólico. O sistema tem como objetivo estabilizar a tensão e proteger as cargas eletrônicas a ele ligado, como LEDs e baterias. A pesquisa foi realizada tendo como base uma metodologia mista, integrando o estudo de casos para uma melhor contextualização da aplicação prática do sistema criado e a metodologia experimental afim de validar a eficácia do circuito.

Dessa forma os resultados obtidos foi permitir uma redução significativa das oscilações de tensão, permitindo uma maior estabilidade e garantindo uma alimentação contínua, assim observa-se a eficácia do filtro na atenuação dos ruídos e picos de tensão. Durante as análises observou-se que a tensão de saída se manteve dentro de uma faixa segura para as cargas, eliminando dessa forma as flutuações de sinal que são naturais de sistemas de geração de energia em especial ao de energia eólica.

Este estudo permitiu contribuições científicas uma vez que conseguiu validar a viabilidade de uma solução a baixo custo e compacta para condicionar a energia de aerogeradores e realizar a implementação da coleta de dados e sua visualização de forma fácil e descomplicada por meio da plataforma Blynk. Dentre os parâmetros informados então a tensão, corrente e potência em tempo real, mostrando-se cruciais para a análise da instabilidade da fonte e como base sua validação.

Por fim o circuito criado demonstrou algumas limitações como: não possuir filtros ativos ou controle eletrônico para otimizar o seu desempenho ou a falta do armazenamento da energia obtida em uma bateria. Estas limitações não invalidam sua eficácia, mas delimitam seu escopo e destaca a necessidade de evolução para que possa atender demandas mais rigorosas e que possa prover energia com uma qualidade mais alta.

## REFERÊNCIAS

AUTODESK. Tinkercad. Plataforma oficial. 2025. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>.

BICALHO, F. S. Integração de Turbinas Eólicas às Redes Elétricas. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

BLYNK. About. [S. l.]: Blynk. [s.d.].

BONELLI, A. F. Modelagem e Simulação de Unidade Eólica para Estudos de Estabilidade. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2019.

DAMACENO, D.; FUNG, C. W. H.; SARTORI, R. V. Central de automação residencial de baixo custo com ESP32. Caderno Progressus, [S. l.], v. 4, n. 8, p. 3-23, 2024.

DORNELES, P. F. T. Comportamento da energia eletromagnética em circuitos do tipo RLC. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 2, 2008.

ESPRESSIF. ESP32 Series Datasheet. Espressif, 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 6244

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física: Eletromagnetismo. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

IEA – International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. Paris: IEA, 2023.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Boletim Anual de Geração Eólica no Brasil 2024. Brasília: ONS, 2024.

RAMOS, D. S. et al. Arquitetura Distribuída de Multisensoriamento com ESP32 e MQTT para Monitoramento Inteligente de Data Centers. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO UBÍQUA E PERVASIVA (SBCUP), 2025. Anais... Porto Alegre: SBC, 2025. p. 9195.

SANTOS, C. R. B. dos. Análise do comportamento térmico de módulos ESP32 utilizando o ESP-NOW e modo Sleep. ForScience, [S. l.], v. 13, n. 2, p. e01331, 2025.

SERRANO, C. E. S. et al. Introdução ao Blynk App – Crie projetos em Arduino. 2018.

SILVA, F. H. S. Aplicação do Falstad na simulação de circuitos elétricos. Universidade Federal do Ceará, 2021.

FUNDAÇÃO CAPES. Programa Falstad – Circuit Simulator Applet. 2020.  
EDITORAREALIZE. Simulações computacionais no ensino da física: o uso da ferramenta Falstad – Circuit Simulator Applet. 2018.

ZANINIRENK, R. Manutenção de turbina eólica: como é feita e qual sua importância. 2025.  
Disponível em: [https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1087/1/Marcos\\_Zanchettin\\_2012.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1087/1/Marcos_Zanchettin_2012.pdf)