

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

Desenvolvimento de um instrumento de laboratório microprocessado para aquisição e registro de sinais de corrente em cargas trifásicas, com comunicação sem fio para transmissão de dados

Paulo Cesar Leocádio Filho¹, Francisco Pereira Júnior²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIC, IFSP, Campus Campinas, leocadio.filho@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor EBTT – Área Eletroeletrônica, Campus Campinas, pereira.francisco@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.00-0 Medidas Elétricas, Magnéticas e Eletrônicas; Instrumentação

RESUMO: Este trabalho descreve o desenvolvimento de um instrumento de medição capaz de registrar a corrente instantânea de uma carga trifásica, permitindo que sejam armazenados sinais em regime permanente ou sinais transitórios que normalmente ocorrem durante as manobras. O desenvolvimento está baseado na plataforma Arduino, devido ao seu custo reduzido e à facilidade de desenvolvimento de módulos que podem ser acoplados ao microcontrolador. O instrumento permite que os valores medidos sejam transferidos para um computador via canal de rádio, onde podem ser armazenados e exibidos em formato gráfico ou de tabela. Para tornar os sinais registrados compatíveis com outros programas de análise, os dados são armazenados no formato COMTRADE.

PALAVRAS-CHAVE: medição de grandezas elétricas; oscilografia em circuitos trifásicos; qualidade de energia elétrica; conversão analógica-digital.

Development of a microprocessor laboratory instrument for acquiring and recording current signals in three-phase loads, with wireless communication for data transmission

ABSTRACT: This work describes the development of a measuring instrument capable of recording the instantaneous current of a three-phase load, allowing steady-state signals or transient signals that normally occur during maneuvers to be stored. The development is based on the Arduino platform, due to its low cost and the ease of developing modules that can be coupled to the microcontroller. The instrument allows measured values to be transferred to a computer via radio channel, where they can be stored and displayed in graphical or table format. To make the recorded signals compatible with other analysis programs, the data are stored in the COMTRADE format.

KEYWORDS: measurement of electrical quantities; oscillography in three-phase circuits; power quality; analog-to-digital conversion.

INTRODUÇÃO

Nos laboratórios da área elétrica em que são utilizadas cargas trifásicas ligadas à rede de distribuição (ex: motores de indução trifásicos), encontramos algumas dificuldades para exibir graficamente os sinais de tensão e/ou corrente aplicados às cargas. Os níveis de tensão elevados, a necessidade de usar pontas de prova de corrente (encontradas a preços muito altos) e o número de canais (3 para tensão + 3 para corrente) já impedem o uso de osciloscópios com configurações mais simples

para a tarefa. Analisadores de rede com recursos de oscilografia são uma alternativa para este problema, porém, muitos laboratórios não possuem estes equipamentos devido ao seu custo elevado.

Para contornar esta dificuldade encontrada nos laboratórios, este projeto propôs inicialmente o desenvolvimento de um medidor trifásico de baixo custo, capaz de registrar simultaneamente os sinais de tensão e corrente de uma carga trifásica ligada à rede elétrica, enviando os dados registrados por um canal de comunicação sem fio para serem armazenados e exibidos na tela de um computador. A versão inicial do instrumento apresentada neste artigo, se limita ao registro dos sinais de corrente das três fases, sua transmissão por RF para um computador, seu armazenamento no formato COMTRADE (IEEE STD, 1991) e sua exibição em modo gráfico ou tabela.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do projeto foi dividido em três frentes principais (Figura 1), sendo a primeira o software que faria o armazenamento de dados e a exibição dos valores lidos, a segunda o sistema de comunicação entre o computador e o instrumento e a terceira o instrumento que seria ligado à rede elétrica. O desenvolvimento isolado destes três blocos permitiu que o trabalho fosse desenvolvido e testado de forma independente, muitas vezes simulando o comportamento de uma funcionalidade antes mesmo dela estar completamente funcional no outro bloco.

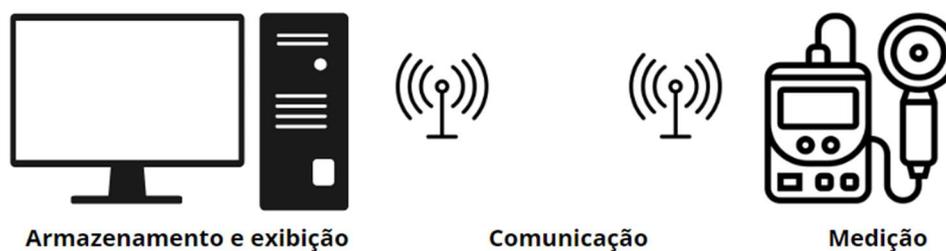


Figura 1. Estrutura básica para o desenvolvimento

Armazenamento e exibição:

Durante a etapa de especificação deste bloco, foi definido que os dados armazenados deveriam ser em formatos já existentes e não proprietários, facilitando sua análise por outros softwares. Os formatos escolhidos foram o formato texto (CSV) e o formato COMTRADE. O formato CSV possibilita que o arquivo seja importado por um editor de texto ou uma planilha, e muitos softwares de análise também permitem sua importação. Os arquivos COMTRADE podem ser lidos por softwares de análise de diversos fabricantes de equipamentos, como (ELSPEC LTD, 2022) e (SCHNEIDER ELECTRIC, 2021).

A proposta inicial da interface de comunicação e controle (Figura 2) contém uma área para exibição de gráficos, uma área para exibição dos dados de comunicação, uma área para a configuração da comunicação e uma área de comandos.

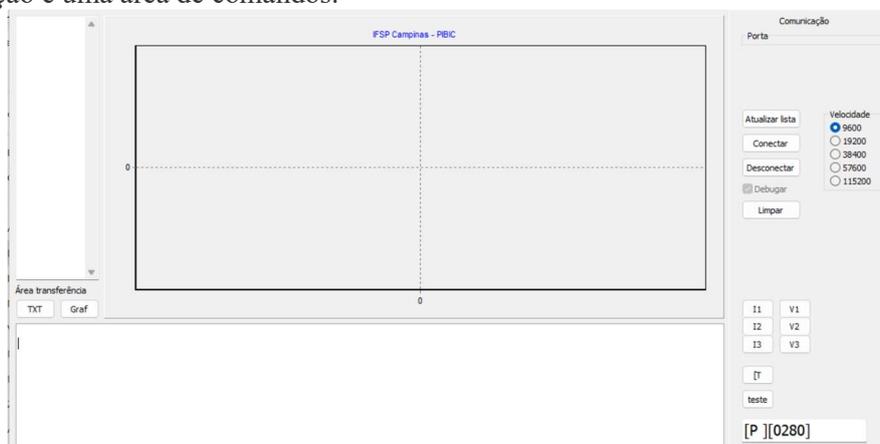


Figura 2. Proposta inicial da interface de comunicação e controle

Comunicação:

O sistema proposto deve ser capaz de enviar comandos para o módulo de medição e receber os dados de leitura, portanto existe a necessidade de comunicação bidirecional. Existem diversas soluções para a plataforma Arduino que atendem este requisito e a escolha recaiu sobre um módulo que já havia sido utilizado pelos membros do grupo de pesquisa.

O bloco de comunicação é composto por uma placa Arduino e um rádio nRF24L01 (NORDIC SEMICONDUCTOR, 2020) em cada extremidade. Este módulo transceptor de rádio da Nordic Semiconductor opera na faixa de 2.4GHz e pode transmitir pacotes de até 32 bytes. No caso de vetores de medição com mais de 32 bytes, estes deverão ser transmitidos em blocos e remontados no destino.

Considerando o modelo OSI (Tanenbaum, 2003) de comunicação, tanto o software desenvolvido no PC quanto o software desenvolvido no Arduino de medição se limitam a trabalhar na camada de aplicação. As camadas inferiores do modelo OSI são gerenciadas diretamente pelo módulo de rádio ou pela biblioteca do Arduino. No lado do PC o Arduino pode trabalhar de forma transparente, enviando para o rádio os comandos vindos do PC e enviando ao PC os dados recebidos pelo rádio. Na extremidade de medição, o Arduino deve processar os comandos recebidos pelo rádio e realizar as medições quando solicitado. Após a medição, o Arduino transmite o resultado em pacotes de 32 bytes que serão remontados no PC.

Medição:

A escolha da plataforma Arduino abre diversas possibilidades com relação às características de medição do projeto. Uma análise dos conversores A/D e da capacidade de memória RAM de alguns modelos da plataforma Arduino (Tabela 1), revela quais os limites que podem ser alcançados com cada modelo. A frequência de amostragem, a resolução do conversor A/D e a capacidade de armazenamento definem os limites que podem ser alcançados pelas diversas placas da família.

Tabela 1. Características de algumas placas da família Arduino

	Conversores A/D	Bits	SRAM
Uno	6	10	2k
Due	12	12	96k
Giga	12	16	1M

* Dados disponíveis na Internet (ARDUINO, 2024)

A opção pelo Arduino UNO permite armazenar 512 amostras de dois bytes em um comando de leitura, utilizando 50% da memória RAM disponível. Isto corresponde a 512 amostras para registro de apenas um canal, 256 amostras se estivermos lendo dois canais ou 170 amostras para uma leitura de 3 canais. Posteriormente o projeto poderá ser adaptado para trabalhar com as versões de maior capacidade do Arduino, inclusive com a inclusão da medição simultânea dos canais de tensão, mas nesta primeira versão a opção foi pela placa mais simples disponível nos laboratórios da instituição.

Os sinais de corrente e tensão de cargas trifásicas são muito superiores aos níveis admitidos nas entradas das placas Arduino, então existe a necessidade de reduzir estes níveis e garantir que o sinal não possui frequências acima de duas vezes a frequência de amostragem (ANALOG DEVICES, 1999). As técnicas de medição de corrente com o uso de resistores shunt ou com o uso de transformadores de corrente (TCs) utilizadas em medidores de energia (TEXAS INSTRUMENTS, 2015) podem ser utilizadas neste equipamento, desde que os pontos de medição fiquem isolados galvanicamente do Arduino. A escolha foi pelo uso de transformadores de corrente, devido à facilidade de implementar o circuito e pelo custo reduzido destes componentes. Foram utilizados TCs com relação de transformação de 1000:1 e fundo de escala de 20A, adequados para os equipamentos que serão medidos em nossos laboratórios.

A placa condicionadora de sinais foi desenvolvida como um “Shield” do Arduino (Figura 3), podendo ser conectada a transformadores de núcleo fendido (tipo alicate) ou transformadores toroidais.

O esquema elétrico mostra um dos canais de entrada de corrente e a referência de tensão, que desloca o sinal de tensão alternada em $V_{CC}/2$, permitindo que o Arduino faça a medição de um sinal que originalmente possui valores positivos e negativos.

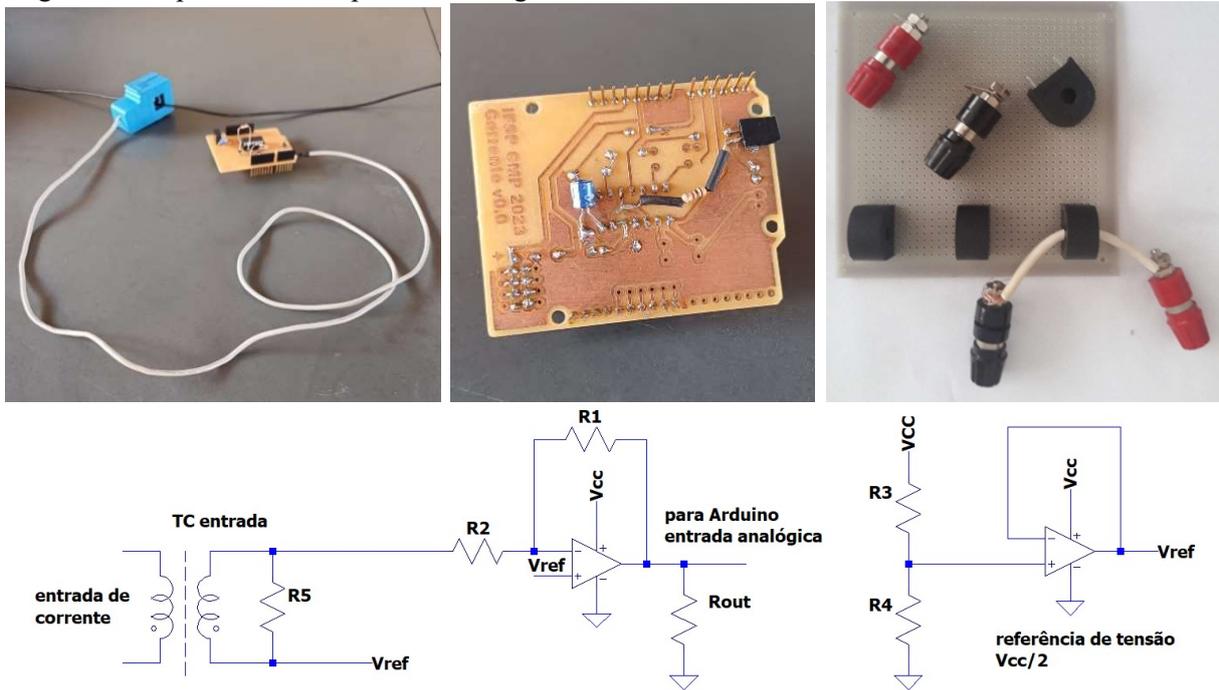


Figura 3. Transformadores de corrente e placa condicionadora de sinais

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As versões iniciais do software de armazenamento e exibição (Figura 4) foram testadas com sinais simulados enviados pelo Arduino de medição, uma vez que as placas de medição ainda não haviam sido desenvolvidas. Esta versão mostrada já contava com configuração da comunicação, exibição gráfica dos sinais e exibição do tráfego de comunicação.

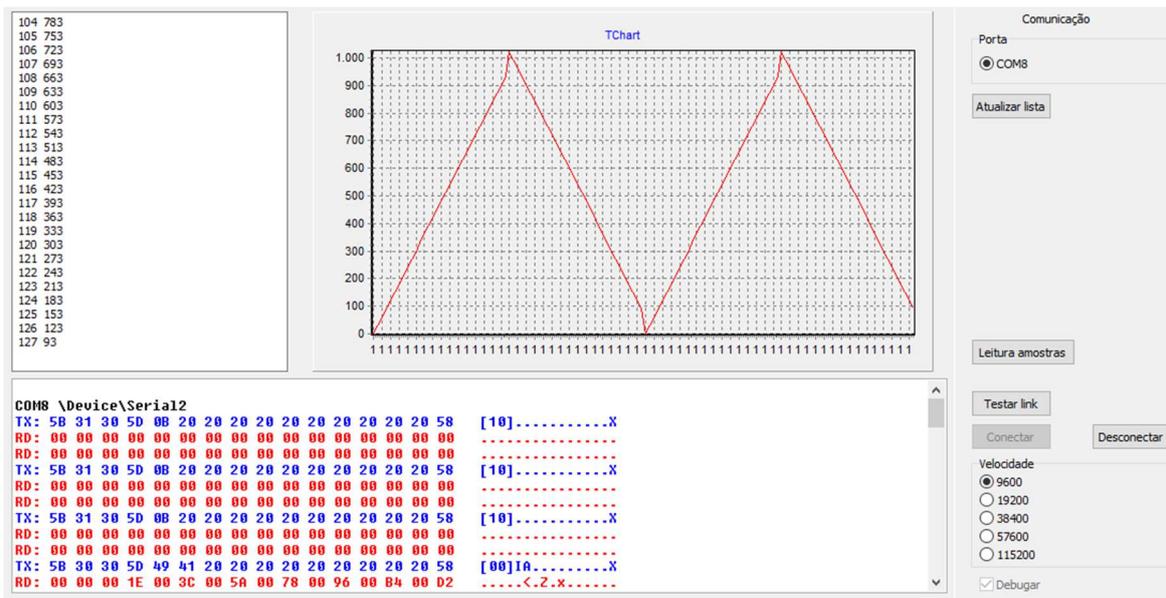


Figura 4. Versão inicial do software de armazenamento e exibição

Nas versões seguintes (Figura 5) foram adicionados os comandos de seleção da fase medida e a programação do nível de disparo (trigger) da medição. Esta figura vemos mostra uma leitura de corrente com o trigger ajustado para a borda de subida.

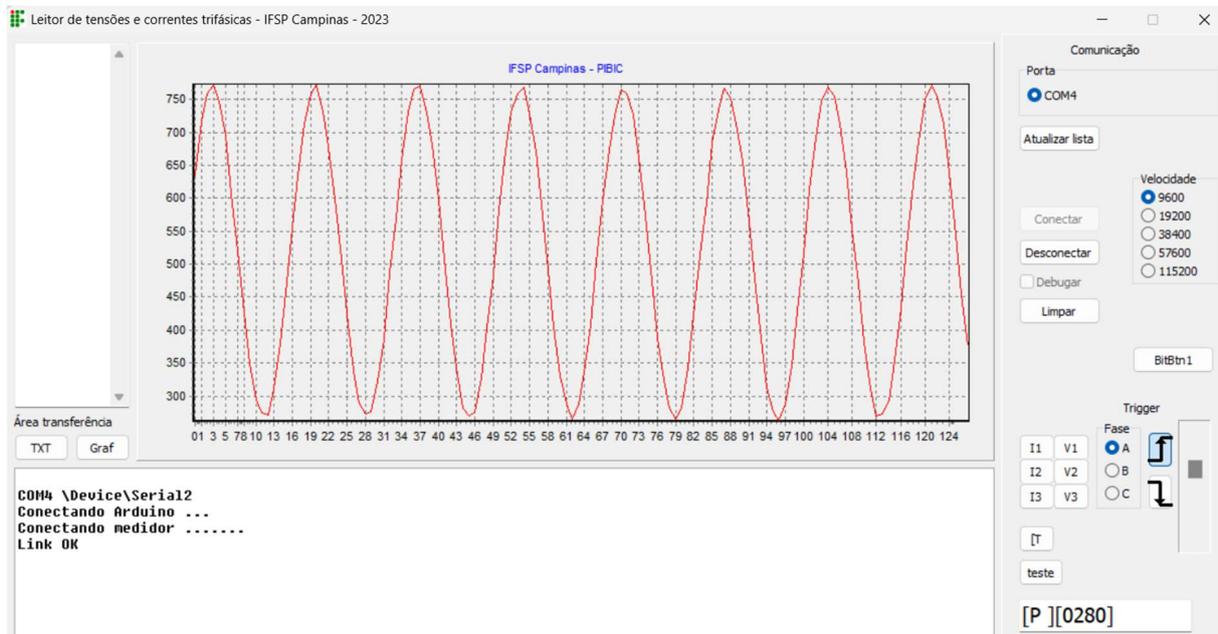


Figura 5. Versão com seleção da fase medida e ajuste do “trigger”

Com estes resultados, percebemos que o módulo de exibição pode ser aprimorado para ter as funcionalidades de um osciloscópio. Os controles de amplitude precisam ser colocados no módulo de exibição e em um controle de ganho no módulo de medição. Até esta versão os dados não estão sendo exibidos em bits do conversor A/D e precisam ser convertidos para a unidade correta. O eixo X também precisa ser corrigido para exibir os valores de tempo, ao invés da exibição do número da amostra.

Informações adicionais, como valor eficaz das medições e distorção harmônica, também podem ser exibidas no painel, melhorando as funcionalidades do equipamento.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento dos três módulos mostrados na Figura 1 foi satisfatório e os principais objetivos foram alcançados.

O módulo de comunicação funcionou de forma satisfatória, permitindo o envio de comandos para o módulo de medição e recebendo os resultados de medição sem perda de informação. Sua limitação de transmissão de pacotes de 32 bytes não afetou o desempenho do medidor, pois a solução adotada foi de armazenamento dos dados antes de iniciar a transmissão.

O sistema de medição também teve um bom desempenho, dentro de suas limitações. O conversor A/D de 10 bits e a capacidade de armazenamento de 1kByte podem ser melhorados com a adoção de uma placa Arduino mais avançada e pequenas alterações no “shield” de condicionamento de sinais. Um segundo “shield” para medição de tensão pode ser posicionado sobre o primeiro, já que a plataforma Arduino permite o empilhamento destes módulos.

O módulo de armazenamento e exibição permite o controle do módulo de medição e exibe os dados em formato gráficos, com recursos para exportação e impressão dos gráficos. Os arquivos COMTRADE gerados (HDR, CFG e DAT) foram testados com programas de análise disponíveis na internet e exibiram o resultado esperado, porém ainda não foram feitos testes com os canais de tensão e corrente medidos simultaneamente. Nos arquivos criados, os valores dos canais inexistentes foram preenchidos com zeros.

Embora não seja um projeto inovador, este trabalho tem potencial para dar continuidade a novas linhas de iniciação científica, que podem tanto aprimorar o medidor criado ou trabalhar no desenvolvimento novos instrumentos.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Paulo César Leocádio Filho - contribuiu com o desenvolvimento dos módulos de comunicação e do módulo de medição, além de atuar na parte de teste e integração destes módulos.

Francisco Pereira Júnior - contribuiu com a concepção e orientação do trabalho e com o desenvolvimento do módulo de controle, exibição gráfica e armazenamento.

Todos os autores contribuíram com a redação e a revisão do trabalho, e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSP Campinas pela bolsa fornecida através de seu Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica.

REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICES. **Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning**. Analog Devices, 1999.

ARDUINO. Hardware. : **Placas disponíveis**. 2024. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/hardware>. Acesso em: 23 set. 2024.

ELSPEC LTD. **COMTRADE Viewer**. 2022. Disponível em: <https://www.elspec-ltd.com/power-quality-software-pqscada-software/comtrade-viewer/>. Acesso em: 23 set. 2024.

IEEE - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Std C37.111-1191**. IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems, junho 1991

NORDIC SEMICONDUCTOR. **NRF24 Series**. 2020. Disponível em: <https://www.nordicsemi.com/Products/nRF24-series>. Acesso em: 23 set. 2024.

SCHNEIDER ELECTRIC. **WAVEWIN Data Management and Analysis System software**. 15 out. 2021. Disponível em: https://www.se.com/ca/en/download/document/WAVEWIN_Software/. Acesso em: 23 set. 2024.

TANENBAUM, Andrew Stuart. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

TEXAS INSTRUMENTS. **Implementation of a Low-Cost Three-Phase Electronic Watt-Hour Meter**. Metering Application. Texas Instruments, 2015.