

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

## **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS DE BAIXO CUSTO PARA ACOMPANHAMENTO EM TEMPO REAL DAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO<sup>1</sup>**

**Sandy Tondolo De Miranda<sup>2</sup>, Paulo Sausen<sup>3</sup>, Mauricio De Campos<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEENG) pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC)

<sup>2</sup> Acadêmica do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI, bolsista PROBIC FAPERGS – sandy\_tondolo@hotmail.com.

<sup>3</sup> Professor Orientador Dr. Paulo S. Sausen – sausen@unijui.edu.br

<sup>4</sup> Professor MSc. Maurício de Campos – campos@unijui.edu.br

### **INTRODUÇÃO**

A energia elétrica tem impulsionado a evolução tecnológica em diversas áreas, Proporcionando inúmeros benefícios para a sociedade. A preocupação dos agentes do setor elétrico com a qualidade e eficiência da geração até a distribuição da energia elétrica, tem ocasionado diversos estudos de análise e monitoramento do Sistema Elétrico de Potência (SEP) (KATALIN et al., 2010). O avanço tecnológico estimulou as indústrias e residências a adquirir diversas cargas eletrônicas, o que acabou modificando o comportamento do sistema, causando deformações nas formas de onda de corrente e tensão. Tais deformações, conhecidas como distorções harmônicas são prejudiciais ao SEP.

O fluxo de harmônicas através da rede elétrica resulta em uma série de efeitos indesejáveis não somente em indústrias, mas também em residências. Sua análise e diagnóstico da qualidade de energia elétrica (QEE) são essenciais para minimizar/reduzir as distorções harmônicas da rede elétrica (SANTOS, 2011). Desta forma, é necessário realizar a aquisição e armazenamento de amostras possibilitando avaliar sua qualidade. Isto é possível principalmente através do uso de computadores no processo de automação e medição, que vêm estimulando a evolução dos instrumentos de aquisição e monitoramento de dados. A instrumentação virtual, como conhecida, revolucionou os métodos tradicionais de medição, concentrando-se em hardware para sistemas centrados e em software que exploram o poder computacional, a produtividade e as funcionalidades dos computadores. Possibilitando aumentar a precisão, desempenho e principalmente a flexibilidade de aquisições. Neste ambiente de instrumentação, destaca-se os dataloggers, que são sistemas de aquisição de dados que tem a finalidade de obter dados digitais através de medições de grandezas físicas (analógicas). Este sistema possui capacidade de armazenar dados automaticamente, 24 horas por dia, possibilitando medir e registrar informações em tempo real.

O objetivo deste trabalho, é apresentar o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados elétricos, que permite uma taxa de amostragem mínima de 200 amostras/ciclo. O sistema proposto, visa realizar a medição e armazenamento de dados da rede de distribuição primária de média tensão

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

(24kV) do Departamento Municipal de Energia Elétrica de Ijuí (DEMEI). A partir da instalação do sistema proposto é possível analisar, em tempo real, os sinais de corrente e tensão até a 25<sup>a</sup> harmônica com precisão. Portanto, o sistema ora desenvolvido possui alto desempenho e permite monitoramento online da rede, possibilitando assim analisar o conteúdo harmônico significativo que transita no mesmo. O projeto visa com isto à minimização de custos, máxima confiabilidade e segurança na aquisição. Sendo de grande importância, para análise da QEE, permitindo que o SEP seja redimensionado e aprimorado.

#### METODOLOGIA

A análise da QEE pode ser definida como análise da combinação dos distúrbios de corrente, tensão e desvio de frequência (IGNATOVA; VILARD; HYPOLITE, 2015). Tais problemas estão presentes desde o sistema de distribuição de energia até as instalações elétrica dos consumidores. Há diversos fatores que podem acarretar perturbações no sistema de energia, como por exemplo, fatores atmosféricos, acidentes, entre outros. Dependendo do nível da perturbação, estes podem causar uma série de distúrbios no sistema elétrico. As próprias concessionárias têm interesse no monitoramento e manutenção da QEE. Desta forma, é precípuo que empresas obtenham sistemas, que analisem as cargas não lineares e desbalanceadas.

O sistema de aquisição de dados de alta frequência de amostragem, foi desenvolvido a partir de uma Raspberry Pi, apresentado na figura 1.



Figura 1: Raspberry Pi

Este produto desenvolvido no Reino Unido tem todos os recursos de um computador, com a vantagem do seu tamanho ser próximo a um cartão de crédito, sendo portátil e de baixo custo (inferior a US\$ 50,00). Este microcomputador pode utilizar sistema operacional Windows 10 ou LINUX e possui processador com GPU Vídeo Core IV e 1GB de memória RAM. Ressalta-se que o sistema operacional é instalado em um micro SD card. Entretanto a Raspberry não possui conversor AD, necessário para adquirir os dados das conversões a serem realizadas. Para contornar este problema foi desenvolvido uma placa para ser adicionada a Raspberry com esta finalidade.

Para adicionar um conversor analógico/digital a Raspberry Pi, dois conversores foram comparados, e a partir de uma análise foi definido o melhor para o sistema proposto. Os conversores analisados foram: MCP3208 da fabricante Microchip que possui resolução de 12bits; SPI com frequência máxima de clock de 4 MHz; 8 canais de entrada analógica e o conversor AD7656 fabricado pela Analog Devices que possui 16bits; frequência do clock da SPI de até 18 MHz; 6 canais independentes.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

Para definir qual conversor teria o melhor desempenho foram realizados ensaios onde foram analisadas as taxas de conversão obtida por cada ADC, utilizando-se comunicação SPI através do método por hardware, que possui confiabilidade e agilidade. Ambos conversores testados mostraram-se capazes de realizar as aquisições dos sinais analógicos. No entanto, o conversor AD7656 apresentou uma frequência superior de amostragem, conforme pode ser observado na Tabela 1, ao mesmo tempo que apresentou uma maior confiabilidade nos dados recebidos, uma vez que realiza a conversão ADC a partir de duplas de canais, garantindo que não exista a diferença de tempo entre a aquisição de dados de tensão e corrente de uma mesma fase.

Tabela 1: Frequência de Amostragem

Equipamento	SPI por hardware
AD7656	7,2kHz
MCP3208	1,44kHz

O hardware desenvolvido é apresentado na Figura 2. Possui 6 canais para medição: 3 para medição de corrente; 3 para medição de tensão.



Figura 2: Hardware do Sistema de Aquisição

O sistema tem capacidade de ler dados de equipamentos ou sensores, e em conjunto com o microcomputador, realizar conversões e tratamentos, para posteriores análises. O hardware desenvolvido é conectado diretamente ao barramento disponível no microcomputador, possibilitando inclusive reprogramar o conversor a qualquer momento.

O firmware do dispositivo aqui apresentado foi desenvolvido na plataforma Linux em linguagem C++. Através deste, os dados são manipulados e armazenados, apresentando as conversões das amostras. A partir das amostras é aplicado o método do valor eficaz. O algoritmo do cálculo do valor eficaz (RMS, do inglês Root Mean Square) baseia-se na aplicação da definição do valor eficaz para um sinal amostrado (XAVIER, 2011). Na equação 1 é apresentado o cálculo da tensão eficaz ( $V_{rms}$ ) e na equação 2 o cálculo da corrente eficaz ( $I_{rms}$ ).

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

$$V_{rms} = \frac{K_v \times \sqrt{\sum_{n=1}^M V(n)^2}}{M} \quad (1)$$

$$I_{rms} = \frac{K_i \times \sqrt{\sum_{n=1}^M I(n)^2}}{M} \quad (2)$$

Onde,  $K_v$ : ganho sensor de tensão;  $K_i$ : ganho sensor de corrente;  $M$ : Número de amostras no período de integração;  $V(n)$ : amostra de tensão instantânea em  $n$ ;  $I(n)$ : amostra de corrente instantânea em  $n$ .

A medição e aquisição de sinais na rede de distribuição primária é realizada a partir de transformadores de corrente (TC) e transformadores de tensão (TP). Na rede de distribuição de 24kV da concessionária DEMEI, no qual o sistema será instalado, o TC possui no seu secundário uma corrente de 5A e o TP tensão de 115V. No entanto a faixa de tensão do sistema desenvolvido é de  $\pm 5$  V ou  $\pm 10$  V. Assim foi necessário adequar os níveis de sinais dos respectivos sensores aos níveis de entrada dos conversores ADC, ou seja, desenvolver um circuito de condicionamento de sinais.

Para o desenvolvimento do circuito de condicionamento optou-se por utilizar sensores/transdutores. Estes medem as grandezas físicas (analógicas) e são conectados a um conversor AD, permitindo que o sistema desenvolvido adquira os dados do conversor e armazene-os em um banco de dados. Na realização da medição da tensão utilizou-se o transdutor LV 20-P, que suporta tensão de entrada alternada ou contínua de até 500 Volts, possui isolamento galvânico entre o circuito primário e secundário, linearidade, excelente precisão e imunidade a interferências externas. Para a medição da corrente foi utilizado o LA 25-P que suporta corrente alternada ou contínua de até 25A com excelente precisão. Ambos sensores são da fabricante LEM. O sistema completo com o circuito de condicionamento de sinais e o sistema de aquisição de dados é apresentado na Figura 3.

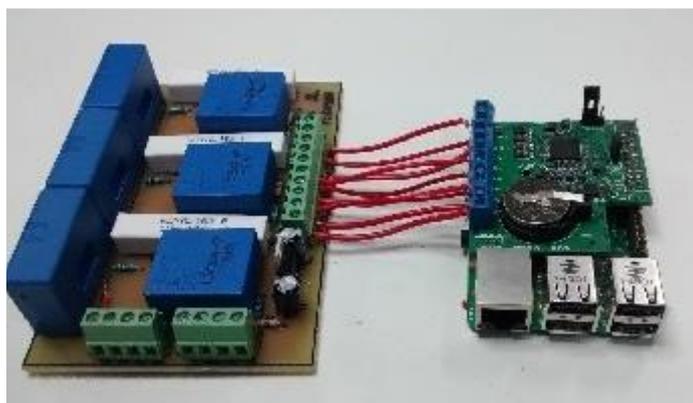


Figura 3: Sistema de Aquisição

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente as medições foram realizadas no laboratório do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC). Ressalta-se que para os testes utilizou-se uma carga resistiva conectada em estrela e uma fonte de tensão trifásica da Califórnia Instruments, capaz de gerar sinais de 0 a 5000 Hz, com os mesmos valores de tensão e corrente dos transformadores que serão conectados ao sistema.

O número de amostras que o sistema deve adquirir é calculado através da Teoria da Amostragem (Teorema de Nyquist). A teoria afirma, que para ser realizada uma discretização (conversão do sinal no tempo contínuo para o discreto) do sinal é preciso ter pelo menos uma frequência de amostragem duas vezes maior que a frequência do sinal a ser medido. No Brasil o padrão da frequência da rede é de 60 Hz, temos que a frequência dos sinais a serem medidos é de 1500 Hz. Portanto, a frequência de amostragem deve ser maior que 3000 Hz. Nos testes realizados, a medição apresentou aproximadamente 4500 amostras/segundo, atendendo a norma exigida. O datalogger foi desenvolvido para a análise e melhoramento da qualidade de energia elétrica, assim, quanto mais amostras são adquiridas melhor. As amostras têm como objetivo analisar as distorções harmônicas, possibilitando avaliar um determinado ponto, fazendo com que ações preventivas ou mesmo corretivas, sejam tomadas.



Figura 4: Tela de login do Sistema

Os dados são manipulados através de uma interface remota, que realiza a conexão com o sistema através de conexão TCP/IP. As amostras adquiridas pelo hardware desenvolvido podem ser armazenadas em um micro SD card conectado à Raspberry ou ainda serem transmitidas e armazenadas em uma base de dados especialmente desenvolvida para este projeto. O sistema supervisor desenvolvido acessa a base de dados e apresenta, de forma online, os dados das tensões e correntes da rede de distribuição primária do DEMEI. Na Figura 4 é apresentada a interface de login do sistema e na Figura 5 a tela que apresenta as informações de tensão e corrente dos 4 alimentadores do DEMEI. Os dados aqui apresentados representam os testes realizados em laboratório, pois o sistema ainda está em fase de instalação junto a subestação do DEMEI visto que

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

existe a necessidade de realizar algumas adequações físicas para sua instalação. O sistema ainda permite que sejam realizadas pesquisas por períodos de tempo definidos pelo usuário para apresentar os dados adquiridos e armazenados na base de dados conforme apresentado na Figura 6.

Alimentador	Data e Hora	Tensão A	Tensão B	Tensão C	Corrente A	Corrente B	Corrente C
Alimentador 1	19/04/2016 09:31:10	114.9	115.1	114.7	5.2	4.9	5.1
Alimentador 2	19/04/2016 09:31:10	115.2	114.9	114.9	4.9	4.7	4.5
Alimentador 3	19/04/2016 09:31:10	114.8	115.2	114.9	5.1	4.8	4.9
Alimentador 4	19/04/2016 09:31:10	114.8	115.2	114.5	5.1	4.9	4.4

Figura 5: Tela principal com as informações em tempo real dos alimentadores

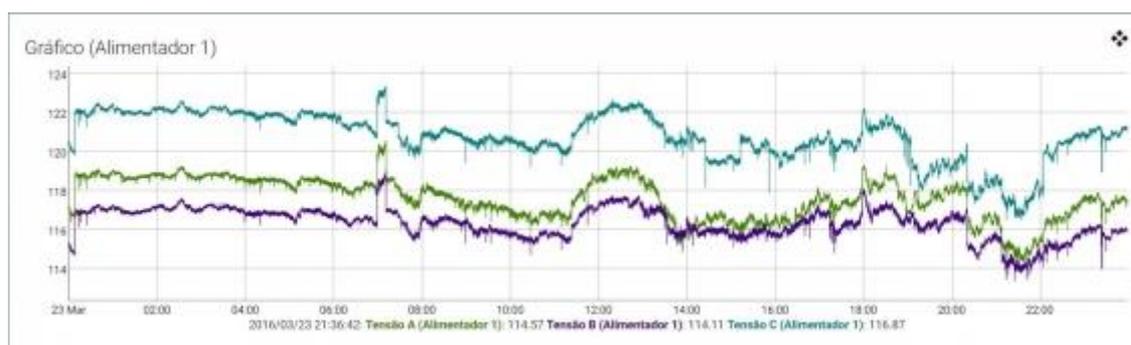


Figura 6: Testes das tensões nas 3 fases

É possível analisar também o transitório da rede, ou seja, a variação súbita da tensão e/ou corrente. Na Figura 7 é apresentado um transitório ocorrido nos testes. Na janela de transitórios é possível selecionar o alimentador, a data e hora, caso não ocorra transitório na faixa pesquisada será apresentada uma mensagem informando esta ocorrência.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

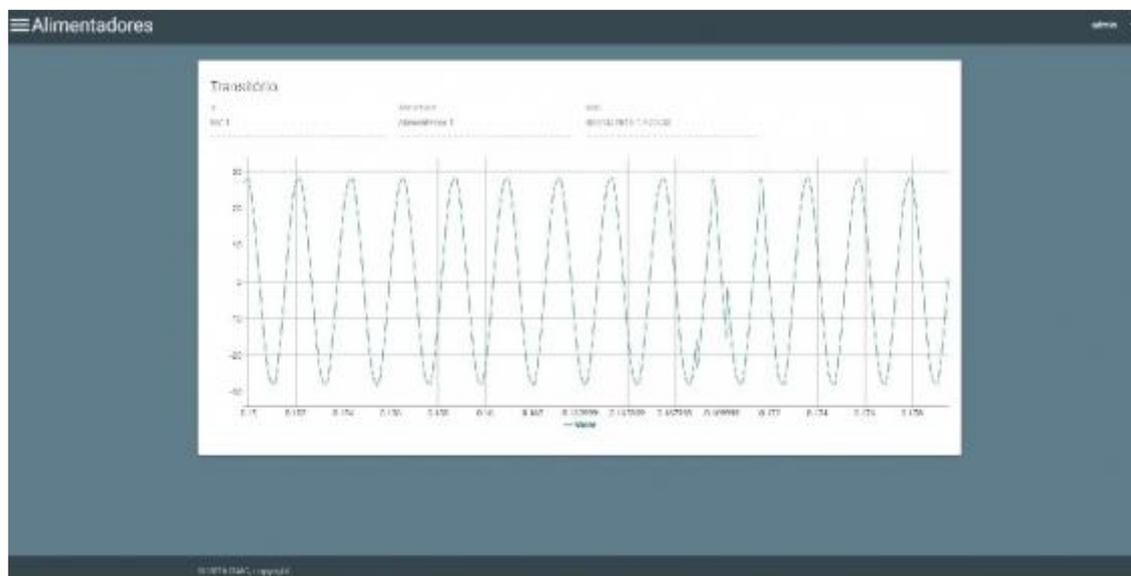


Figura 7: Tela de ocorrência de transitórios

## CONCLUSÕES

A partir do sistema desenvolvido é possível adquirir sinais elétricos em alta frequência, permitindo análise minuciosa dos sinais de tensão e corrente. O monitoramento em tempo real das condições de operação pode trazer inúmeros benefícios para o consumidor e para a concessionária. Além disso, o baixo custo do sistema permite que o mesmo seja desenvolvido em uma escala maior, aumentando os pontos de coleta de dados e permitindo um melhor modelamento do comportamento característico da rede de distribuição de energia elétrica. Os resultados aqui apresentados demonstram a efetividade do sistema, tanto para detecção quanto para a análise de transitórios ocorridos.

O sistema está sendo instalado na subestação da concessionária DEMEI. O monitoramento é de fácil operação e pode ser visualizado a partir de qualquer dispositivo que tenha acesso a Internet.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aquisição de dados, Instrumentação, Raspberry Pi.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Departamento Municipal de Energia Elétrica de Ijuí (DEMEI), através do programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela Bolsa de Iniciação Científica e ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da UNIJUÍ.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IGNATOVA, V.; VILLARD, D.; HYPOLITE, J. M. Simple indicators for an effective Power Quality monitoring and analysis. Environment and Electrical Engineering (EEEIC), IEEE 15th International Conference on Rome, pp. 1104-1108, 2015.

KATALIN, A. Acquisition System for Power Measurements and Harmonics Determination. Automation Quality and Testing Robotics (AQTR) – IEEE International Conference on, Romania, pp. 1-4, 2010.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

SANTOS, M. N. N. Monitoração e Análise de Grandezas da Qualidade da Energia Elétrica em Processo Industriais Utilizando Instrumentação Virtual. Dissertação de mestrado. UFBA. Belém do Pará, 2011.

XAVIER, P. E. A. Analisador da Qualidade de Energia baseado em DSP. Dissertação de Mestrado. UTL. Portugal, 2011.