

Desenvolvimento de um Analisador Classe A da Qualidade da Energia Elétrica

Renê Augusto Benvenuti¹, Diego Hansen Hahn², Javier Aprea³, Alexandre Flores John⁴
 IMS Power Quality, Av Bernardino Silveira Pastoriza, 720, Sarandi - Porto Alegre, RS
 {rene.benvenuti¹, diego.hahn², javier.aprea³, alexandre.john⁴}@ims.ind.br

Resumo—Neste trabalho são apresentados os aspectos diferenciais de um analisador e registrador da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) classe A de acordo com a norma IEC 61000-4-30. Discorre-se sobre os desafios encontrados para o desenvolvimento e a certificação do equipamento. Aborda-se a implementação de um algoritmo de sobreamostragem com interpolação para sincronismo da janela de medição, o qual garante a correta medição de harmônicos mesmo na presença de variações na frequência do sinal medido. Apresenta-se o uso do GPS para sincronização dos intervalos de agregação de dados, funcionalidade que assegura medições equivalentes e comparáveis entre analisadores classe A.

Palavras-chaves—Analisador da QEE classe A, qualidade da energia elétrica, IEC 61000-4-30.

I. INTRODUÇÃO

Qualidade da energia elétrica é o termo utilizado para designar uma série de fenômenos que abrangem diversas áreas do setor elétrico. A perda desta qualidade está relacionada a desvios na magnitude, frequência ou forma de onda da tensão e/ou da corrente elétrica. Distorções harmônicas, desequilíbrios, flutuações de tensão e Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) são fenômenos da QEE que assumiram protagonismo como preocupações dos consumidores e das concessionárias, isto justificado por [1]:

- Maior sensibilidade dos equipamentos atuais à baixa qualidade da energia se comparados aos utilizados no passado;
- Crescente interesse pela racionalização da energia com aplicação de equipamentos chaveados e bancos de capacitores para correção do fator de potência, causando o incremento das correntes harmônicas nas redes de distribuição;
- Aumento do interesse dos consumidores pela disponibilidade continuada da energia, e pressão destes sobre as concessionárias para solução dos problemas relacionados aos VTCDs.

A publicação da revisão 8 do Módulo 8 do PRODIST [2], que entrou em vigor em 1º de janeiro de 2017, deixou evidenciada a iniciativa da ANEEL em melhor regulamentar os fenômenos da QEE. Novos indicadores foram incorporados de forma a impor limites mínimos à qualidade da energia

Os autores gostariam de agradecer seus colegas na IMS Power Quality, pelo suporte no desenvolvimento do analisador classe A, assim como na escrita deste artigo.

fornecida pelas concessionárias, o que exige necessários investimentos para que sejam alcançados os objetivos de melhoria [3].

Neste contexto de crescente interesse pela QEE, ressalta-se a importância dos equipamentos de medição utilizados na obtenção dos indicadores da qualidade da energia. Quanto à normatização dos métodos de medição, adota-se no Brasil a chamada escola europeia, regida pelas normas da IEC (*International Electrotechnical Commission*) 61000-4-7 [4], 61000-4-15 [5] e 61000-4-30 [6], esta última definindo os métodos de medição e o desempenho necessário para duas classes específicas de analisadores: classe A e classe S.

As recentes alterações do Módulo 8 do PRODIST e os motivos expostos anteriormente ensejam uma melhor explanação das diferenças técnicas entre as classes de equipamentos descritos pela IEC 61000-4-30, visto que existem importantes distinções tecnológicas, e consequentemente de custos, entre os equipamentos.

Como continuação dos trabalhos [7]–[9], e avaliando as necessidades brasileiras em relação à medição da QEE, a IMS Power Quality está desenvolvendo o analisador PowerNET PQA-700, que é compatível com a classe A de [6] e atende a regulamentação vigente [2].

Primeiramente, são apresentadas as diferenças normativas e tecnológicas entre as classes A e S de equipamentos segundo a norma IEC 61000-4-30, os motivadores para o desenvolvimento de um analisador classe A e as suas principais aplicações em distinção às de equipamentos classe S. No capítulo III, são abordados os principais desafios tecnológicos para o desenvolvimento de um equipamento classe A, apresentando-se as técnicas e soluções adotadas. Por fim, são apresentadas as conclusões e sugeridos os trabalhos futuros.

II. ESTADO DA ARTE

Durante o ano de 2003, era disponibilizada para consulta a primeira edição da IEC 61000-4-30, que tinha como objetivo principal normatizar os métodos de medição e interpretação dos parâmetros da qualidade da energia elétrica. Nessa edição, os equipamentos já eram classificados em duas classes distintas, onde equipamentos classe A seriam todos os que seguissem as definições propostas na nova IEC, enquanto classe B seriam os demais equipamentos existentes anteriormente. Em 2008, a segunda edição da norma era lançada, e uma nova classe de equipamentos era criada. Os equipamentos

classe B ainda existiriam, contudo, os métodos especificados na norma para esta classe não deveriam ser utilizados em novos desenvolvimentos. Por outro lado, a classe A passaria a ser subdividida em classe A e S, cada uma com seus próprios requisitos de conformidade e propósitos. A terceira edição da norma, lançada em 2015, manteve as mesmas definições apresentadas anteriormente, contudo reforçou a obsolescência dos equipamentos classe B, cuja classificação poderá ser retirada em uma futura revisão da norma.

Das três classes de equipamentos previstas na IEC 61000-4-30 ed. 3.0, a classe A é a que possui os métodos de medição e requisitos de conformidade mais restritivos. Isso se explica pelo uso dado a estes analisadores. Equipamentos classe A são usados quando há a necessidade de coletar dados precisos, como, por exemplo, em situações contratuais envolvendo a solução de disputas específicas ou questões judiciais. Para tanto, dois equipamentos conforme a classe A devem, quando conectados ao mesmo ponto de medição, fornecer resultados equivalentes, ou seja, comparáveis, dentro da incerteza aceitável para cada parâmetro medido.

Concentrando-se no cenário nacional, onde a frequência nominal do sistema é de 60 Hz, um equipamento classe A conforme a norma IEC 61000-4-30 ed. 3.0 deverá:

- Amostrar continuamente (sem *gaps*) janelas de 12 ciclos, sincronizadas com a frequência fundamental do canal de referência;
- Agregar os valores de 12 ciclos, considerados intervalos básicos de agregação, em pelo menos outros 3 intervalos distintos:
 - Intervalo de 180 ciclos;
 - Intervalo de 10 minutos;
 - Intervalo de 2 horas;
- Ressincronizar a janela de 12 e 180 ciclos a cada tique do relógio de 10 minutos, mesmo que gere sobreposição dos ciclos;
- Sincronizar o relógio interno de forma a obter uma incerteza melhor que ± 1 ciclo ($\pm 16,7ms$), independente do intervalo de tempo transcorrido. No caso do sinal de sincronização externa não estar disponível, aceita-se uma incerteza melhor que $\pm 1s$ ao dia;
- Sinalizar os dados agregados onde houve incidência de distúrbios de tensão.

Além dos requisitos amostrais e temporais apresentados, a IEC 61000-4-30 ed. 3.0 também define as seguintes metodologias de medição e incertezas toleradas para um equipamento classe A:

- Medição de frequência sincronizada com o tique do relógio de 10 segundos. Dentro desse intervalo, deve-se contar o número de ciclos inteiros e dividi-lo pela duração total desses ciclos. A incerteza da medição não deve exceder $\pm 10mHz$ dentro da faixa de 51 a 69 Hz;
- Medição do valor RMS de tensão a cada intervalo de 12 ciclos. A incerteza da medição não deve exceder $\pm 0,1\%$ da tensão nominal (U_{din}) dentro da faixa de 10 a 150 %;
- Medição de flutuação de tensão de acordo com a classe F1 definida na IEC 61000-4-15. A incerteza da medição

de P_{st} não pode exceder 5 % dentro do intervalo de 0,2 a 10 p.u;

- Medição do desequilíbrio de tensão através do método das componentes simétricas (teorema de Fortescue). A incerteza da medição não pode exceder $\pm 0,15\%$, tanto para sequência zero quanto para sequência negativa;
- Medição de harmônicos de tensão conforme classe I definida na IEC 61000-4-7. A medição deve conter todas as harmônicas individuais até a 50ª, agrupadas em subgrupos, e o indicador de distorção harmônica total (THD) deve ser calculado. A incerteza da medição não pode exceder 5 %;
- Detecção de afundamentos, elevações e interrupções com duração de pelo menos meio ciclo. As incertezas da medição e da duração não podem exceder, respectivamente, a $\pm 0,2\%$ de U_{din} e a meio ciclo do começo do evento mais meio ciclo do fim do evento.

Para assegurar a conformidade de equipamentos ou módulos de análise da QEE conforme as classes A e S, geralmente são realizados testes de certificação por agentes externos, cuja metodologia nem sempre é tornada pública. Contudo, em 2013, foi lançada a IEC 62586 ([10] e [11]), permitindo que fabricantes implementem por conta própria os testes necessários para verificar o atendimento às normas durante todo o processo de desenvolvimento dos seus equipamentos.

III. DESAFIOS

Nesta seção são apresentados os principais avanços tecnológicos do analisador classe A, os desafios do desenvolvimento e as soluções propostas para alcançar os requisitos necessários.

A. Janela de medição sincronizada

Segundo [6], o intervalo básico de agregação deverá conter 12 ciclos da frequência fundamental. Tem-se então que o intervalo básico de agregação dura 200ms quando a rede apresenta a frequência exata de 60 Hz.

Equipamentos classe A e S devem ser capazes de rastrear frequências com desvio máximo de $\pm 15\%$, ou seja, dentro do intervalo de 51 a 69 Hz. Na Fig. 1, ilustram-se sinais nos extremos do intervalo de medição de frequência e as diferentes durações da janela de 12 ciclos. Percebe-se que, no caso do uso de uma janela fixa de tempo na medição, com taxa de amostragem constante, não serão obtidos 12 ciclos exatos da frequência da rede no caso desta variar com relação à nominal.

Como evidenciado em [12] e [13], alterações na frequência fundamental geram erros nas medições de harmônicos, inter-harmônicos, fasores e desequilíbrio, caso não exista uma técnica para manter a coerência entre a frequência da rede e a taxa de amostragem do analisador. Tais erros são devidos ao espalhamento espectral, fenômeno que ocorre caso a janela de agregação não contenha um número inteiro de ciclos.

Para manter coerentes as frequências da rede e de amostragem, as seguintes técnicas podem ser adotadas:

- Utilizar o algoritmo de Goertzel para calcular os termos individuais da DFT (*Discrete Fourier Transform*);

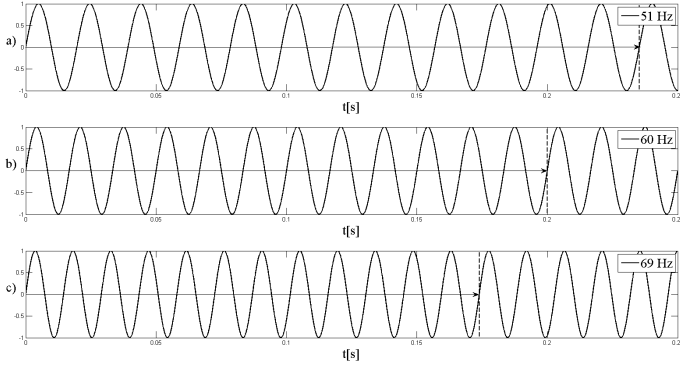


Fig. 1: Diferentes durações da janela de 12 ciclos de sinais senoidais nas frequências de 51, 60 e 69 Hz , para a), b) e c), respectivamente

- Ajuste dinâmico da frequência de amostragem através do uso de um PLL (*Phase Locked Loop*);
- Sobreamostrar os sinais de tensão e corrente, interpolando as formas de onda para que a nova frequência de amostras seja síncrona com a da rede, então aplicando o algoritmo de FFT (*Fast Fourier Transform*).

O algoritmo de Goertzel, apesar de ser factível para correção da DFT em equipamentos com taxas de amostragem fixas, necessita ser executado individualmente para cada componente harmônico. Para atendimento do padrão classe I da IEC 61000-4-7, necessário para o requisito de classe A, é preciso que o algoritmo seja executado cerca de 18030 vezes a cada segundo, conforme Eq. 1, onde: $M = 5$ janelas de 12 ciclos a cada segundo; $N_{ch} = 6$ canais de medição; $BW = 3000 Hz$ banda desejada para 50 harmônicos de 60 Hz ; $f_{res} = 5 Hz$ resolução espectral necessária para agrupamento de subgrupo conforme classe I de [4]; $dc = 1$ componente DC (*Direct Current*) do canal de medição.

$$OP = M \cdot [N_{ch} \cdot (\frac{BW}{f_{res}} + dc)] \quad (1)$$

$$= 5 \cdot [6 \cdot (\frac{3000}{5} + 1)] = 18030$$

Desconsiderou-se a utilização do método de Goertzel devido a essa quantidade de execuções do algoritmo onerar demasiadamente o DSP (*Digital Signal Processor*) da plataforma utilizada comprometendo, assim, o tempo real.

A técnica de PLL consiste no ajuste dinâmico da taxa de amostragem do ADC (*Analog to Digital Converter*) para seguimento da frequência da rede. Este método, apesar de utilizado por alguns equipamentos classe A [14], e citado como sugestão na própria IEC 61000-4-30, possui como problemas intrínsecos da técnica o *delay* de controle do PLL e a necessidade de aquisição e incorporação de um *hardware* específico no caso da utilização de um PLL analógico.

O método de sobreamostragem com interpolação, apesar de requerer considerável processamento do DSP, pode ser implementado de maneira muito mais eficiente que o algoritmo de Goertzel e, por não requerer recursos adicionais de *hardware*, foi o método escolhido para o desenvolvimento do PowerNET

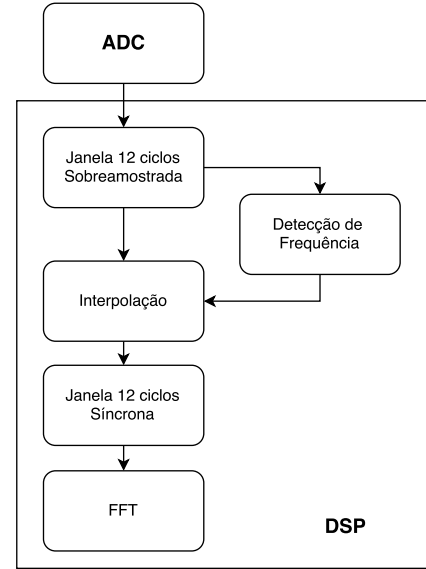


Fig. 2: Arquitetura utilizada para coerência entre janela de medição e frequência da rede

PQA-700. A Fig. 2 descreve de modo macro a técnica de sobreamostragem com interpolação.

Os dados são inicialmente sobreamostrados pelo ADC e então enviados ao DSP, onde são armazenados até a obtenção de 12 ciclos. A janela de medição é então processada para detecção do canal de referência de frequência, obtendo-se o fator de interpolação necessário para adequação dos dados da janela de medição. Por fim, os dados são interpolados, resultando em uma janela de medição síncrona com a frequência da rede, a qual é então processada pelo algoritmo de FFT.

Cabe ressaltar que o processo necessita ser *gapless*, ou seja, sem descontinuidades na aquisição e processamento de dados, exigindo que a interpolação seja contínua no entre-buffers da medição. Para garantir o tempo real, a plataforma deverá ser capaz de realizar a aquisição, interpolação e FFT dos dados antes que outra janela de medição esteja disponível. Também deve-se levar em conta o processamento extra exigido pela sincronização dos intervalos de agregação (discutida na subseção III-B).

Para validação inicial da solução, desenvolveu-se em MATLAB® os algoritmos de aquisição, interpolação e análise harmônica, permitindo a simulação completa do equipamento e agilizando o processo de desenvolvimento. Foram desenvolvidos *scripts* que simulam a medição do equipamento com a abordagem de sobreamostragem com interpolação e também em janelas fixas (taxa de amostragem constante), para efeito de comparação.

Como padrão de testes, utilizou-se uma abordagem baseada na da PSL (*Power Standards Lab*) [15], que define 2 testes para verificação da coerência entre a janela de medição e a frequência da rede:

- Teste 1 (T_1): Aplicar uma amplitude relativa de 23,671 % na 5ª harmônica de tensão para uma frequência fundamental de 95 % da nominal da rede (57 Hz), observando o indicador de THD;
- Teste 2 (T_2): Aplicar uma modulação triangular de

frequência com inclinação de $0,5 \text{ Hz/s}$ na faixa de $60 \text{ Hz} \pm 5 \%$, observando a estabilidade da medição do indicador de THD para a aplicação de uma amplitude relativa de $22,5 \%$ na 5ª harmônica de tensão.

A Fig. 3 apresenta o comparativo entre os espectros obtidos através da aplicação dos diferentes métodos para o teste T_1 . Observa-se que, utilizando janelamento fixo, ocorre espalhamento espectral e a referência de $23,671 \%$ na 5ª harmônica é perdida, gerando um erro superior a 80% . Já para o método de sobreamostragem com interpolação, a taxa de amostragem é corrigida e mantida coerente com a frequência de 57 Hz estabelecida em T_1 , sendo o erro mantido abaixo do limite de 5% .

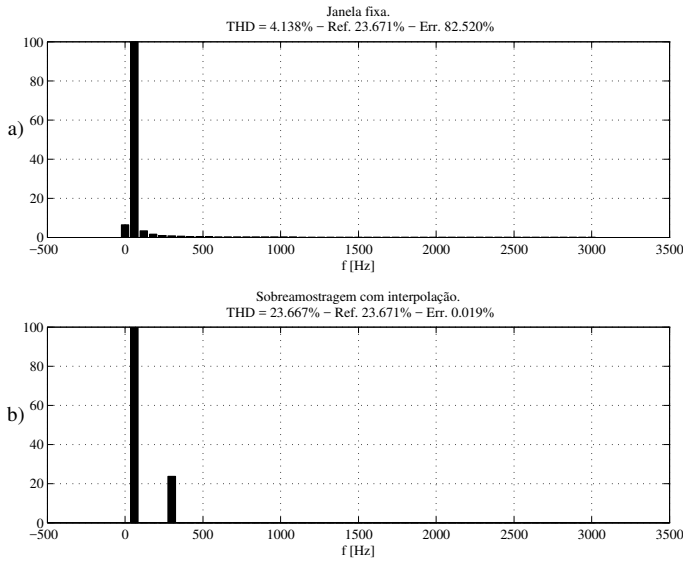


Fig. 3: Espectro da medição para T_1 utilizando os métodos: a) janela fixa e b) sobreamostragem com interpolação

As Fig. 4 e 5 apresentam o resultado da aplicação do teste T_2 para a medição com janela fixa e para a abordagem de sobreamostragem com interpolação, respectivamente. Cada imagem é sub-dividida em 3, com itens a, b e c, conforme descrito na sequência:

- Sub-imagem a: Variação da frequência fundamental da rede conforme definido em T_2 ;
- Sub-imagem b: Comparativo entre valor de referência e medição do indicador de THD para cada intervalo básico de agregação (12 ciclos);
- Sub-imagem c: Erro relativo da medição de THD e limite admissível conforme [4].

Observa-se que o método de sobreamostragem com interpolação permite manter o erro no cálculo do THD abaixo do limite estabelecido em norma, enquanto o método de janelamento fixo faz o mesmo apenas no intervalo de $59,5$ a $60,5 \text{ Hz}$, ou aproximadamente $60 \text{ Hz} \pm 0,8 \%$. Desta forma, o método de janelamento fixo não apresenta resultado satisfatório para medições de parâmetros de QEE quando a frequência da fundamental da rede está fora do intervalo $60 \text{ Hz} \pm 0,8 \%$.

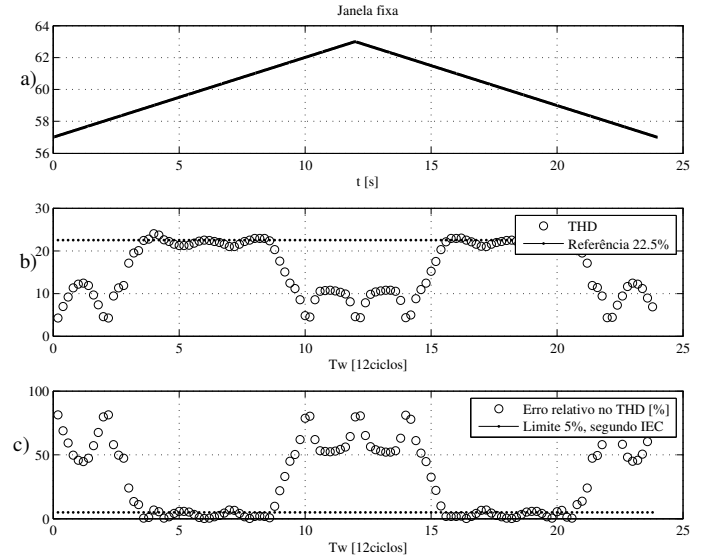


Fig. 4: T_2 aplicado ao método de janela fixa

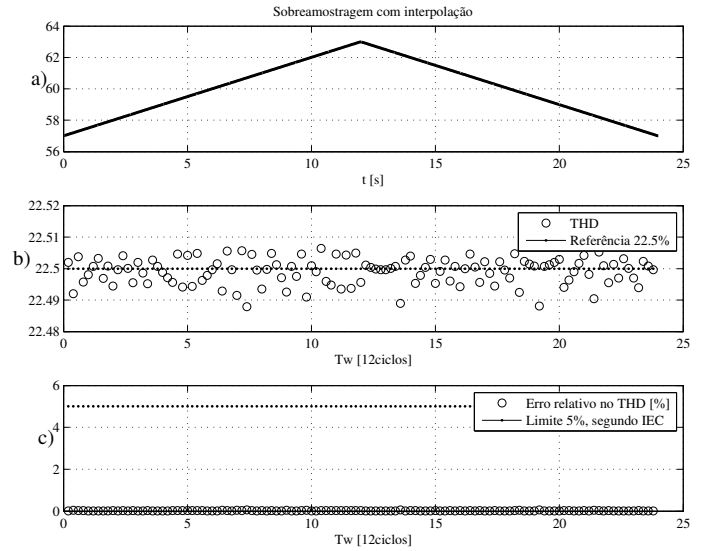


Fig. 5: T_2 aplicado ao método de sobreamostragem com interpolação

B. Sincronização dos intervalos de agregação

Dado que a frequência da rede não é exatamente 60 Hz , temos que a agregação de 10 min das janelas de 12 ciclos não terá, necessariamente, duração igual a 10 minutos, podendo durar mais tempo.

Conforme a IEC 61000-4-30 ed. 3.0, o analisador classe A deverá ser capaz de resincronizar o intervalo de agregação com o tique de 10 min do UTC (*Universal Time Coordinated*), conforme ilustra a Fig. 6, retirada de [6]. Esta funcionalidade dos analisadores classe A garante que dois equipamentos distintos apresentem medições equivalentes e comparáveis. Para equipamentos classe S, é permitido que seja realizada a agregação das janelas de medição sem a sincronização com UTC.

Visando obter a sincronização dos intervalos de agregação, é necessário que o analisador possua uma base de tempo

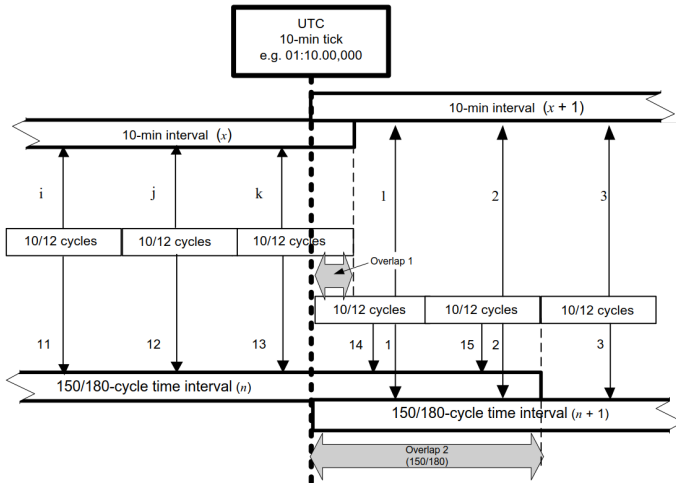


Fig. 6: Sincronização dos intervalos de agregação para classe A (extraída de [6])

confiável, com incerteza máxima de 1 ciclo ($\approx 16,7ms$), e um RTC (*Real Time Clock*) interno capaz de manter estável o relógio no caso de perda do canal de sincronização externa (melhor que $\pm 1 s$ por dia).

Observa-se que o analisador necessitará de uma plataforma capaz de manter o tempo real, mesmo na ocorrência de uma sobreposição (*overlap*) de dados. Isto carrega o sistema com uma janela extra, que deverá ter seu processamento feito juntamente com o da janela anterior.

No desenvolvimento do PowerNET PQA-700, utilizou-se como fonte primária de tempo um RTC com incerteza melhor que $\pm 1 s$ por dia, alimentado por uma bateria interna ao equipamento quando este último é desligado. O RTC é mantido síncrono ao UTC através de um módulo GPS (*Global Positioning System*) incorporado, o qual conserva um desvio melhor do que $100ns$, garantindo atendimento do requisito de 1 ciclo de incerteza.

C. Certificação

Uma importante etapa do desenvolvimento do analisador classe A é a de certificação do equipamento. Nesta etapa são executados testes específicos para que sejam confrontadas as incertezas do equipamento com as estipuladas na IEC 61000-4-30.

Dada a ausência de laboratórios acreditados nacionais e metodologia de testes ainda não consolidada, desenvolveu-se um *framework* de testes baseado nas definições da norma IEC 62568-2 [11]. Os resultados da aplicação desta metodologia a equipamentos de medição de QEE, inclusive ao PowerNET PQA-700, são abordados em um artigo associado, submetido ao XII CBQEE de 2017 [16].

IV. CONCLUSÃO

Apresenta-se neste trabalho os desafios tecnológicos enfrentados no desenvolvimento de um analisador classe A da QEE conforme IEC 61000-4-30 ed. 3.0. Estes desafios são expostos juntamente com a metodologia utilizada na solução das dificuldades.

Inicialmente, abordou-se a problemática da necessidade de equipamentos adequados para a correta aferição da qualidade da energia, dada a susceptibilidade das cargas modernas ao mau funcionamento na presença de fenômenos da QEE. Contextualizou-se o leitor com o histórico das normas IEC 61000-4-30 e ressaltou-se as diferenças entre analisadores classe A e S, dando enfoque aos requisitos do classe A. Evidenciou-se o desafio de manter coerente a taxa de amostragem do equipamento com a frequência da rede, apresentando metodologias, topologia e implementação prática com resultados que demonstram erros elevados para o caso de uso da janela fixa. Apresentou-se a necessidade do sincronismo das agregações e o uso desta funcionalidade. Tratou-se da necessidade de certificação do analisador classe A, discutindo brevemente sobre as dificuldades do tema.

A. Trabalhos Futuros

Atualmente, o PowerNET PQA-700 se apresenta em estágio final do desenvolvimento dos algoritmos de medição, necessários para cumprimento dos requisitos da norma IEC 61000-4-30 ed. 3.0 para analisadores da classe A. Contudo, de modo a elevar o leque de aplicações do analisador, espera-se como trabalho futuro:

- Possibilitar a medição de correntes em uma faixa dinâmica ainda maior, incorporando-se ao equipamento PGAs (*Programmable Gain Amplifier*) e permitindo o ajuste e calibração de múltiplos sensores de corrente;
- Elevar a precisão do equipamento com a utilização de um ADC de 24 bits, permitindo uma melhora significativa na medição nos extremos da faixa dinâmica;
- Garantir a medição de energia conforme a classe D das normas NBR 14519, 14520 e 14521;
- Elevar a quantidade de amostras utilizada nos algoritmos de medição para 20480 *amostras/s* (mais de 340 *amostras/ciclo*), possibilitando, entre outras, uma melhora na precisão dos algoritmos de medição;
- Calcular a magnitude e o ângulo de fase dos harmônicos individuais, permitindo estudo avançado das distorções harmônicas e a correta modelagem da forma de onda das tensões e correntes nos sistemas elétricos de potência [17].

A fim de permitir suporte completo às funcionalidades do PowerNET PQA-700, existem trabalhos sendo realizados na suíte de *softwares* PowerMANAGER. Pretende-se incorporar um serviço de geolocalização que utilizará o módulo GPS do analisador, auxiliando em questões de otimização logística.

O equipamento passa por testes de verificação e validação, a serem concluídos até o segundo semestre deste ano. O analisador deverá ser submetido aos testes de conformidade da UFU, como foi feito anteriormente para o analisador PowerNET PQ-600 [18]. Futuramente, pretende-se obter a certificação internacional do PowerNET PQA-700 em um laboratório acreditado.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Paulilo, “Conceitos Gerais sobre Qualidade da Energia - Capítulo I,” *Revista o Setor Elétrico*, vol. 84, pp. 28–35, Janeiro de 2013.
- [2] *PRODIST - Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica*, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Janeiro de 2017.
- [3] *Contribuições à Audiência Pública nº 080/2015*, Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - ABRADDEE, Fevereiro de 2016.
- [4] *IEC 61000-4-7 Edition 2.1: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and Measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connect thereto*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2010.
- [5] *IEC 61000-4-15 Edition 2.0: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and Measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specification*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2010.
- [6] *IEC 61000-4-30 Edition 3.0: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and Measurement techniques - Power quality measurement methods*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2015.
- [7] T. Busatto, “Análise dos Requisitos Mínimos Necessários para Medição da Qualidade da Energia em Atendimento aos Procedimentos de Distribuição (PRODIST),” in *IX CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, Cuiabá, Mato Grosso, Agosto de 2011.
- [8] D. H. Hahn and J. Aprea, “Automação de um Framework de Testes para um Qualímetro,” in *X CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, 2013.
- [9] B. D. B. Silva and J. Aprea, “Development of a Power Quality Meter,” in *X CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, 2013.
- [10] *IEC 62586-1 Edition 1.0: Power quality measurement in power supply systems - Part 1: Power Quality Instruments (PQI)*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2013.
- [11] *IEC 62586-2 Edition 1.0: Power quality measurement in power supply systems - Part 2: Functional tests and uncertainty requirements*, International Electrotechnical Commission - IEC, 2013.
- [12] A. Berger and F. A. O. Nascimento, “Considerações sobre o uso da DFT na Análise Harmônica de Sistemas de Potência,” in *VII CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, Santos, SP, Agosto de 2007.
- [13] R. S. Coutinho and F. A. O. Nascimento, “Correção no Cálculo de Fasores na Presença de Variação da Frequência Fundamental da Rede,” in *XI CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, Campina Grande, PB, Junho de 2015.
- [14] A. E. Legarreta, J. H. Figueroa, and J. A. Bortolin, “An IEC 61000-4-30 class A—Power quality monitor: Development and performance analysis,” in *Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), 2011 11th International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 1–6.
- [15] P. S. Lab. Iec 61000-4-30 ed3 report. [Online]. Available: <http://www.powerstandards.com/IEC-61000-4-30.php>
- [16] S. Tolentino, R. A. Benvenuti, D. H. Hahn, and J. Aprea, “Framework para conformidade de analisadores da qualidade da energia elétrica seguindo metodologia da IEC 62586-2:2013,” in *XII CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, 2017.
- [17] J. Das, *Power system harmonics and passive filter designs*. John Wiley & Sons, 2015.
- [18] U. F. de Uberlândia, “Relatório técnico – testes de desempenho de medidores de qualidade da energia elétrica,” Janeiro 2013.