

Análise da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica Através do Uso de Sistemas Multiagentes

Juliano S. Damiani* Guilherme B. da Costa*
Ghendy Cardoso Jr.* Adriano P. de Moraes**

* *Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil (e-mail: julianodamiani02092000@gmail.com; guilhermebragadacosta@gmail.com; ghendy@ufsm.br);*

** *Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Santa Maria, Brasil (e-mail: adriano@ctism.ufsm.br);*

Abstract: Multi-Agent Systems (SMA) are seen by the electricity sector as a tool for solving the problems faced by utilities. Therefore, a study was developed to evaluate the power quality supplied to the consumer. This article aims to show how SMA can improve utilities' quality indexes and consumer satisfaction, overcoming the problem of delay in obtaining voltage data and the correct classification of possible disturbances. To achieve this goal, the authors considered the use of SMA as a means of communication between smart meters. The purpose of using smart meters is to utilize devices inserted in smart grids, mainly due to reading data and using artificial intelligence techniques. The proposed method was implemented in Java Agent Development Framework (JADE), and the data used for evaluation were obtained through an energy analyzer installed in three homes. The results of the simulations show that this SMA provides speed, efficiency, and automation for the process of power quality supplied by the utility.

Resumo: Os Sistemas Multiagentes são vistos pelo setor elétrico como uma das principais ferramentas para solucionar os problemas enfrentados pelas concessionárias. Mediante a isso, foi desenvolvido um estudo para avaliar a qualidade da energia fornecida ao consumidor. Este artigo tem como objetivo mostrar como o SMA pode melhorar os índices de qualidade das concessionárias e a satisfação do consumidor, superando o problema da demora na obtenção dos dados de tensão e a correta classificação dos possíveis distúrbios. Para atingir esse objetivo, os autores consideraram o uso do SMA como meio de comunicação entre medidores inteligentes. O objetivo do uso de medidores inteligentes é utilizar dispositivos inseridos em redes elétricas inteligentes, principalmente devido à leitura de dados e uso de técnicas de inteligência artificial. O método proposto foi implementado no *Java Agent Development Framework* (JADE), e os dados utilizados para a avaliação foram obtidos através de um analisador de energia instalado em três residências. Os resultados das simulações mostram que o SMA proporciona rapidez, eficiência e automação para o processo de qualidade da energia fornecida pela concessionária.

Keywords: *Multiagent Systems; Power Quality; Smart Grids; Smart Meter; JADE.*

Palavras-chaves: *Sistemas Multiagentes; Qualidade de Energia; Redes Elétricas Inteligentes; Medidores Inteligentes; JADE.*

1. INTRODUÇÃO

O fornecimento da energia elétrica sempre foi ponto fundamental de preocupação de muitas concessionárias. A qualidade do fornecimento de energia elétrica indica confiabilidade no sistema tal como resiliência. Com a evolução da tecnologia e a crescente demanda, aumentou-se a procura por novas formas de se analisar e automatizar os índices de qualidade de energia elétrica, tornando as redes elétricas mais confiáveis e eficientes.

De acordo com Northcote-Green e Wilson (2007), a automação de redes de distribuição consiste num conjunto de tecnologias que permitem ao operador da rede monitorar, coordenar, e operar remotamente através de dispositivos, possibilitando reconfigurações, restaurações, tornando a rede mais observável ao operador. Mediante este cenário, as Redes Elétricas Inteligentes (REIs) são o principal foco de estudos e implementações devido as possibilidades de automatização e controle.

Além disso, as REIs possibilitam uma alta transferência de dados devido a utilização de equipamentos modernos e interligados por redes de comunicação Merabet *et al.* (2014). Sob o cenário de REIs, muitas possibilidades se abrem, desde mudanças na geração, armazenamento de recursos, eficiência, restauração automática, fluxo bidirecional de dados, e o monitoramento da Qualidade de Energia (QE).

A QE varia de acordo com flutuações de tensão, transientes, variações de curta duração, desequilíbrio, afundamento de tensão, sobretensão e componentes harmônicas. A automação de redes de distribuição, visando a QE, inclui cada vez mais a oscilografia nos dispositivos inteligentes, permitindo assim um monitoramento em tempo real da QE Northcote-Green e Wilson (2007).

Conforme Rohbogner *et al.* (2012) os sistemas de gerenciamento de energia estão vinculados as REIs. Estes sistemas têm a tarefa de planejar e controlar de forma otimizada os recursos energéticos de um determinado ambiente. O uso destes sistemas pode favorecer a aplicação

dos Sistemas Multiagente (SMA) como um paradigma de controle para realizar o gerenciamento de energia.

Além disso, o monitoramento de dados é uma das principais variáveis desejadas por engenheiros de proteção de sistemas de potência. Para coletar esses dados são utilizados Medidores Inteligentes (MIs) instalados nas unidades consumidoras. Estes dispositivos possibilitam interação em tempo real com consumidores, fluxo bidirecional de dados, previsão e monitoramento de carga. Uma das grandes vantagens dos MIs é a possibilidade de informar automaticamente as alterações no nível de tensão fornecida ao consumidor. Através deste método, o processo de QE torna-se rápido e eficiente.

Logo, é possível buscar novos métodos de solução baseados em controle distribuído e tomada de decisão. Nesse tipo de abordagem, a inteligência artificial é implementada nos dispositivos do sistema, compartilhando informações e negociando as decisões para uma melhor QE. Mediante a este contexto, o SMA torna-se solução viável. Conforme Shirazi e Jadid (2019), SMA surgiu como a tecnologia responsável por aplicar estratégias de controle distribuído em sistemas de potência.

Atualmente, há uma grande busca pela qualidade do produto entregue pela concessionária, sendo esta qualidade mensurada por sete fenômenos em regime permanente ou transitório (tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variação de frequência e variações de tensão de curta duração).

Este estudo propõe um método para controle em tempo real da qualidade do fornecimento de energia em REIs. O SMA foi desenvolvido na plataforma *Java Agent Development Framework* (JADE). Os agentes têm acesso aos fasores de tensão, através dos MIs, e utilizam estes dados para gerenciar a QE de acordo com as normas regulatórias.

2. SISTEMAS MULTIAGENTES

Os SMAs consistem em um sistema computacional em que vários agentes cooperam para atingir um objetivo global ou específico. De acordo com Shobole e Wadi (2021), os agentes são sistemas computacionais inteligentes que atuam com autonomia, e tem a habilidade de realizar decisões críticas utilizando informação local ou global para atingir os objetivos designados.

Conforme Jennings, Sycara e Wooldridge (1998), o SMA pode ser utilizado em tarefas complexas, pois permite que essa seja dividida em várias outras menores e mais simples, o que facilita a solução do problema. As principais razões para a escolha do SMA são devido a capacidade de fornecer robustez e eficiência, além de permitir a interoperação com sistemas existentes e a grande capacidade de resolver problemas de forma distribuída, possibilitando uma solução mais rápida e automática.

Os protocolos de comunicação entre os agentes são desenvolvidos e padronizados, através da *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA). A FIPA faz parte da *IEEE Computer Society*, que é principalmente ligada as áreas de ciência da computação, engenharia elétrica e eletrônica. Os

protocolos do FIPA são de suma importância para a cooperação, coordenação e negociação entre os agentes.

Na Fig. 1 é apresentado a plataforma do agente composta por: Agente, *Agent Management System* (AMS), *Directory Facilitator* (DF) e *Message Transport System* (MTS).

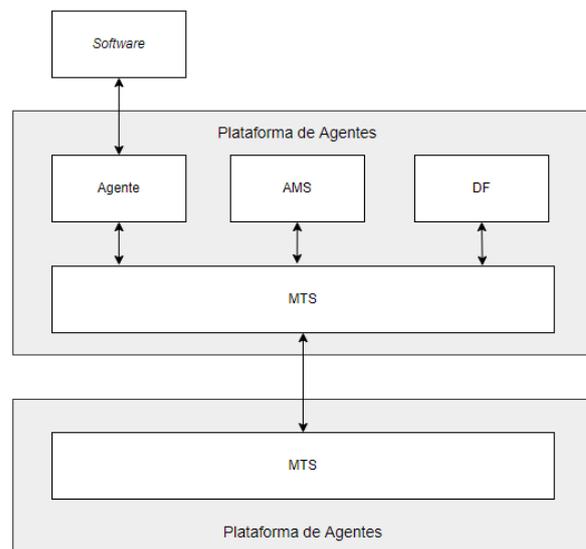


Fig. 1 Modelo geral da plataforma dos agentes. Adaptado de Bellifemine *et al.* (2010).

O AMS é o agente responsável por gerenciar a plataforma e pela prestação de serviço nas páginas brancas. Para obter um *Agent Identifier* (AID) válido, o agente precisa se registrar em um AMS. O DF fornece o serviço de páginas amarelas que gerencia uma lista dos serviços que cada agente pode oferecer (por exemplo, leitura de tensão, topologia de rede).

Portanto, pode-se concluir que o SMA oferece vantagens substanciais sobre sistemas convencionais integrados e distribuídos. A principal vantagem é a flexibilidade e a natureza aberta de uma arquitetura de SMA.

O desenvolvimento em REIs envolve uma grande quantidade de dados coletados de forma distribuída. O processo de tomada de decisão é auxiliado por esses dados. Consequentemente, a etapa de aquisição e processamento destes dados é uma tarefa desafiadora. Técnicas de inteligência computacional são usadas para superar essas dificuldades.

3. METODOLOGIA PROPOSTA

Foi considerado uma rede de distribuição genérica composta por medidores inteligentes nas unidades consumidoras, transformadores de distribuição, chaves e a subestação para a alimentação do sistema. A seguir, explica-se a arquitetura do SMA para gerenciamento da QE.

3.1 Arquitetura do Sistema Multiagente

A arquitetura do SMA proposta pelos autores foi baseada na topologia da rede presente em Costa *et al.* (2021), considerando os principais equipamentos presentes em redes de distribuição. Utilizou-se uma estrutura hierárquica contendo agentes distribuídos em 4 níveis: Agente Subestação, Agente Chave, Agente Transformador e Agente Medidor.

Na Fig. 2 pode ser visto como está estruturada a arquitetura do SMA proposto. Vale ressaltar que os principais agentes que serão abordados neste trabalho são exclusivamente os agentes medidores, cujo foco estaria vinculado ao fato destes agentes serem responsáveis pela leitura de tensão e corrente, tomada de decisão e troca de informações para concluir os objetivos pré-definidos.

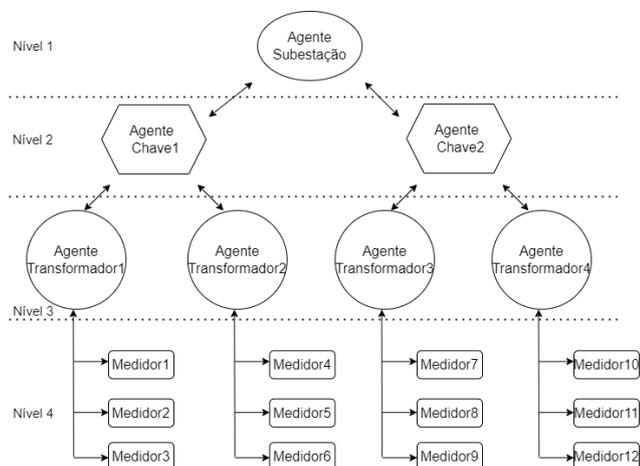


Fig. 2 Arquitetura do SMA proposto. Adaptado de Costa *et al.* (2021).

A primeira ação de cada agente é registrar seu serviço no DF. Este procedimento visa encontrar o agente responsável por cada serviço de forma eficiente, precisa e rápida.

O principal foco deste trabalho está em desenvolver ferramentas de cálculo e tomadas de decisão para os agentes do nível 4 da arquitetura analisada.

3.2 Tipos de Agentes

Esta seção visa explicar os comportamentos de cada agente

3.2.1 Agente Medidor

Os MIs presentes nas unidades consumidoras são considerados como agentes. Este agente é responsável por monitorar a tensão e a corrente fornecida ao consumidor. Se o fornecimento de energia estiver fora dos padrões estabelecidos, o agente envia automaticamente uma mensagem ao Agente Equipe solicitando manutenção.

3.2.2 Agente Equipe

O Agente Equipe representa as equipes de campo que realizam a manutenção na rede elétrica. Quando um Agente Medidor envia uma mensagem REQUEST solicitando manutenção, o Agente Equipe pode decidir se aceita ou recusa a solicitação de acordo com sua localização e condições (climáticas, de trânsito, fadiga dos colaboradores, etc.) no momento da solicitação.

3.3 Implementação

Para implementar a proposta de SMA foi utilizado a plataforma JADE. Este middleware é escrito em linguagem JAVA e é utilizado para desenvolvimento e execução em tempo real de aplicações *peer-to-peer* que usam agentes.

Todas as comunicações entre os agentes são feitas através do protocolo FIPA.

A plataforma JADE possui inúmeras funcionalidades que possibilitam o desenvolvimento do SMA. Além de fornecer uma plataforma de execução de agentes, o JADE oferece recursos de comunicação em rede com agentes de diferentes dispositivos e uma interface gráfica que permite visualizar e monitorar as ações realizadas pelos agentes durante o processo de troca de informações e negociações.

Cada tipo de agente foi implementado em um *container* específico, conectados na rede de comunicação via protocolo TCP/IP por um switch de 100Mbps, vide Fig. 3.



Fig. 3 Topologia aplicada do framework.

3.4 Análise da qualidade de fornecimento de energia elétrica

O fluxograma que descreve o comportamento específico de cada caso está apresentado na Fig.4.

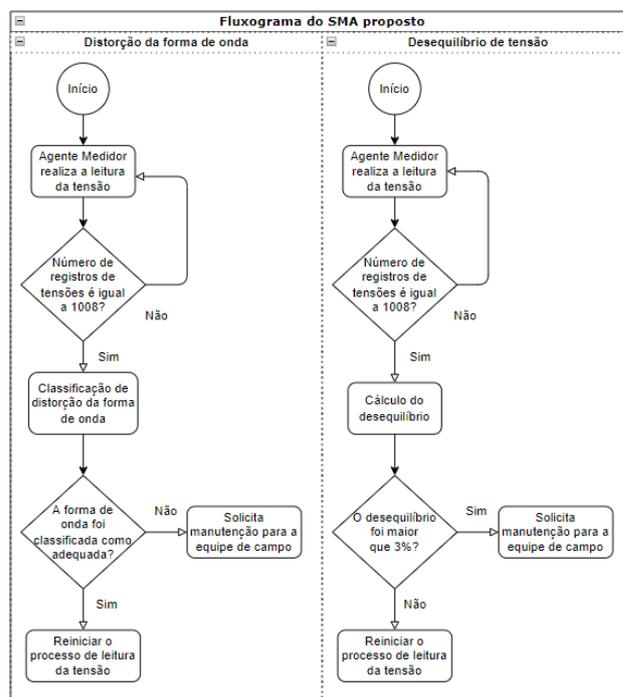


Fig. 4 Fluxograma do SMA proposto para gerenciamento da QE.

Quando as tensões estiverem fora dos limites estipulados pelas normas reguladoras, ações corretivas imediatas devem ser tomadas pelas concessionárias. Os MIs serão responsáveis pela leitura de tensão, classificação e solicitação de manutenção.

Uma má qualidade da energia fornecida pode resultar em falhas de equipamentos, erros de operação, perdas, falhas no fornecimento e outros danos. Mediante a isso, os órgãos reguladores do setor elétrico criaram alguns padrões para avaliar e melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica. Um correto reconhecimento do distúrbio permite que a concessionária execute uma tomada de decisão mais eficiente e assertiva, melhorando assim o fornecimento de energia e consequentemente os indicadores referentes a QE.

Assim, a utilização de MIs em conjunto com o SMA permite que a concessionária verifique continuamente os níveis de tensão fornecidos e obtenha tomadas de decisões autônomas conforme os objetivos estipulados para os agentes. Os autores propõem funções para os MIs partindo de 2 métodos de solução: com foco na distorção da forma de onda e com foco no desequilíbrio de tensão.

3.4.1 Distorção na forma de onda da tensão

Conforme estabelecido no PRODIST - Módulo 8 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2021), deve ser coletada a tensão a cada 10 minutos por no mínimo uma semana. Desta forma, são necessárias 1008 leituras para realizar a classificação de tensão. A norma utiliza dois índices para as transgressões: um para tensão precária (DRP), e outro para tensão crítica (DRC). Ambos são calculados respectivamente pelas equações (1) e (2).

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \times 100 [\%] \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \times 100 [\%] \quad (2)$$

O limite do indicador DRP aceito pela norma é de 3% e do indicador DRC é de 0.5%. Os termos *nlp* e *nlc* representam o maior valor entre as fases do número de leituras localizadas nas faixas precária e crítica, respectivamente. Na Tabela 1 estão apresentados os valores limites de tensão para cada classificação, conforme o PRODIST – Módulo 8.

Tabela 1. Faixa de valores para classificação de tensões

Classificação da Tensão	Tensão (V)
Crítica	$V < 191$
Precária	$191 \leq V < 202$
Adequada	$202 \leq V \leq 231$
Precária	$231 < V \leq 233$
Crítica	$V > 233$

O processo de análise da tensão fornecida começa quando o cliente faz uma reclamação. Após a solicitação do consumidor, o prazo para as concessionárias no Brasil realizarem a coleta dos dados e fazerem as medições instantâneas é de 30 dias. O resultado com os valores de transgressão decorrentes da medição de 168h (1 semana), deve ser informado ao consumidor em até 30 dias.

Caso seja identificada a infração na medição, os prazos para regularização serão de 15 dias quando houver infração relativo tanto ao DRP quanto ao DRC.

3.4.2 Desequilíbrio de Tensão

Outra tarefa que os MIs podem realizar é a medição de desequilíbrio de tensão. Essa tarefa é importante pois se as tensões estiverem desequilibradas, podem provocar maiores perdas na rede, o que aumenta o custo e alguns equipamentos podem apresentar mau funcionamento, como por exemplo: os transformadores.

Para o cálculo do desequilíbrio de tensão utilizou-se as equações (3) e (4):

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2} \quad (4)$$

Conforme dita a norma, para classificar em desequilíbrio de tensão, o limite aceitável para possíveis transgressões nas leituras é fornecido pela tabela 2.

Tabela 2. Limites para os desequilíbrios de tensão

Indicador	Tensão Nominal	
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 230\text{kV}$
FD95%	3%	2%

Observe que a norma permite apenas 5% das leituras realizadas cujo Fator de Desequilíbrio de tensão (FD) seja maior que 3%, para tensão nominal inferior ou igual a 1kV. Ou seja, como foram realizadas 1008 leituras válidas, apenas 50 delas podem apresentar FD maior que 3%.

Vale ressaltar que, após a reclamação do consumidor, a distribuidora deve identificar as possíveis ocorrências no sistema elétrico que possa ter relação com o surgimento do desequilíbrio de tensão, podendo inclusive tentar realizar um rastreamento e investigação de acordo com os problemas relatados.

Note também que existe a possibilidade de ser um problema interno às instalações do consumidor. A distribuidora tem um prazo de 30 dias para elaboração de relatório com o parecer técnico sobre a ocorrência.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validar a metodologia proposta, um Analisador de Energia (AE) foi instalado em três residências na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Foi utilizado o AE modelo ITAE-3600, da empresa *Instrutemp*. O AE coletou 1008 valores de tensão para cada residência, conforme requerido Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2021). Dentre os dados coletados foram analisados dois cenários.

No primeiro cenário, o método utilizado avalia e gerencia a qualidade do fornecimento de tensão da concessionária. No segundo, avaliou-se o método que informa automaticamente sobre o desequilíbrio de tensão. Em todos os cenários, foi utilizada a comunicação entre dispositivos inteligentes (agentes), por meio do SMA.

De acordo com a metodologia proposta, se a tensão é classificada como precária ou crítica, a concessionária deve realizar ações necessárias para normalizar o fornecimento de energia ao nível adequado. O Agente Medidor requisita manutenção automaticamente para o Agente Equipe, tornando assim o processo de restauração dos níveis adequados de tensão mais rápido. A Fig. 5 ilustra a comunicação entre os agentes, através da interface gráfica do JADE.

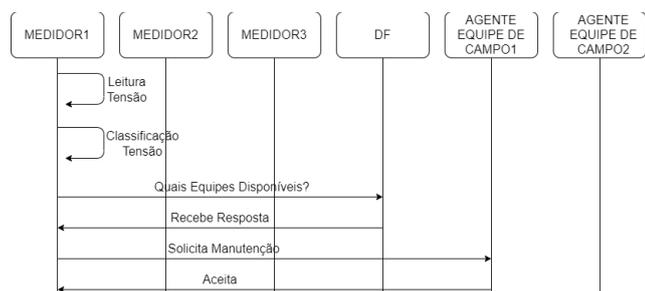


Fig. 5 Diagrama de Comunicação- Cenário 1- Distorção da forma de onda de tensão.

A Tabela 3 ilustra a classificação da tensão em cada residência bem como o tipo de ligação, os valores de DRP e DRC em cada caso, além do desequilíbrio de tensão.

Tabela 3. Classificação da tensão de cada caso analisado

Residência	1	2	3
Figura	Fig. 6(a)	Fig. 6(b)	Fig. 6(c)
Tipo de Ligação	Trifásico	Trifásico	Trifásico
Classificação de Tensão	Adequada	Crítica	Precária
DRP (%)	Fase A	0	4,96
	Fase B	0	27,78
	Fase C	0	19,64
DRC (%)	Fase A	0	1,59
	Fase B	0	1,29
	Fase C	0	1,09
Desequilíbrio de Tensão	Não Ocorreu	Não Ocorreu	Não Ocorreu

No primeiro caso, a classificação obtida da tensão foi precária, vide Fig. 6(c). Através das equações (1) e (2) foi possível calcular o DRP e DRC para cada fase desta residência. De acordo com o fluxograma, o Agente Medidor requisita automaticamente a manutenção para o Agente Equipe.

No segundo caso, a classificação obtida da tensão foi crítica, vide Fig. 6(b). Então foram calculados ambos os indicadores DRP e DRC e classificou-se a tensão. Conforme o caso anterior, o Agente Medidor requisita manutenção para a equipe de campo automaticamente.

No último caso, a classificação obtida para a tensão fornecida é adequada para todas as fases, vide Fig. 6 (a). Os valores dos índices DRC e DRP foram nulos. Neste caso o Agente Medidor não realiza nenhuma ação para manutenção devido a classificação obtida ser adequada.

Além disso, vale ressaltar que em nenhuma das residências avaliadas foram registrados desequilíbrio de tensão.

A grande vantagem de utilizar o SMA com os MIs para capturar e classificar os dados de tensão é tornar o processo mais ágil, considerando que, segundo PRODIST- Módulo 8 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2021), as concessionárias tem 30 dias para realizar todo o procedimento após a reclamação do consumidor.

A Fig. 6 ilustra os gráficos das leituras das tensões de cada residência e os limites de tensão estipulado pelo PRODIST módulo 8.

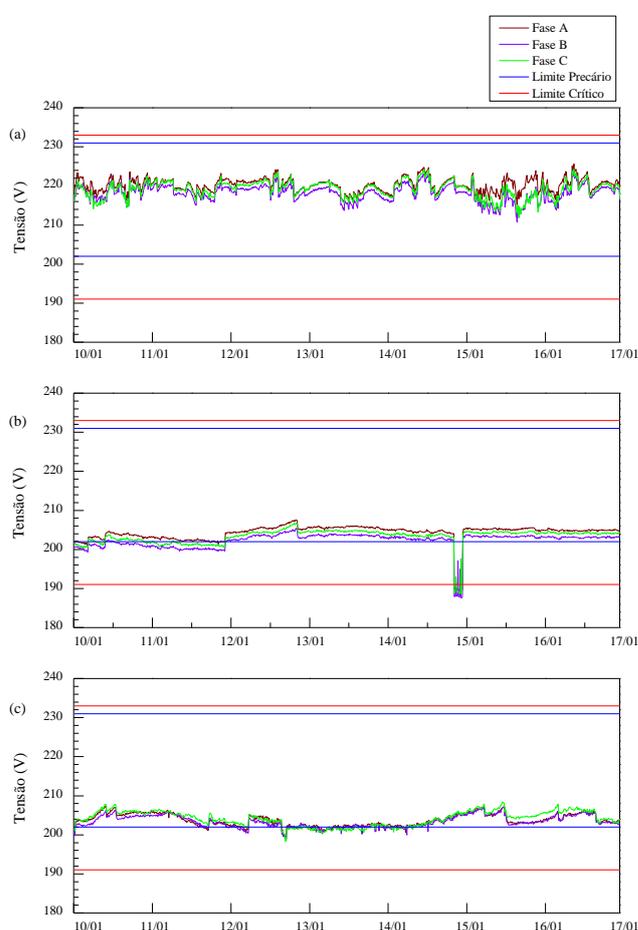


Fig. 6 Gráfico das tensões fornecidas para (a) Residência 1 (b) Residência 2 (c) Residência 3.

O objetivo dos autores não é analisar o melhor método para classificar a tensão fornecida pela concessionária, mas mostrar a viabilidade do uso de SMA em conjunto com uma técnica de inteligência artificial, possibilitando acelerar processos e obter respostas eficientes e automáticas.

Os testes desenvolvidos demonstraram rapidez e eficácia para a metodologia proposta, que visava avaliar a QE sem a necessidade de qualquer ação por parte do consumidor. Por

meio da metodologia utilizada, foram avaliados 2 critérios, que servem como indicadores de qualidade.

O primeiro avaliou o nível de distorção da forma de onda da tensão fornecida pela concessionária, já o segundo verificou o desequilíbrio de tensão da rede. Como mencionado existem várias categorias para indicar a QE. Porém os autores utilizaram os indicadores fundamentais que refletem o comportamento das variáveis em análise para implementação.

5. CONCLUSÕES

Do ponto de vista tecnológico, um dos desafios das REIs aplicados a automação da rede de distribuição é monitorar, controlar e coordenar a rede elétrica de forma eficiente com inteligência. Definitivamente, utilizar tecnologias baseadas em agentes pode ser considerada uma maneira bem-sucedida de enfrentar esses desafios, permitindo que sistemas de software flexíveis e autônomos resolvam um número crescente de problemas complexos.

Para demonstrar a simplicidade e eficácia do método adotado foram avaliados dois cenários diferentes. A metodologia proposta foi implementada no framework JADE para desenvolvimento dos agentes. Para verificar a viabilidade, o método foi testado considerando a leitura de tensão de três residências e foram obtidos resultados promissores.

Todos os casos simulados apresentaram resultados satisfatórios de acordo com a metodologia utilizada. Esta abordagem oferece grande flexibilidade para atender as exigências da qualidade de energia para as concessionárias, visando melhorar os indicadores técnicos e reduzir o número de reclamações dos clientes.

Os autores optaram por instalar funções nos MIs com foco na distorção da forma de onda e no desequilíbrio de tensão. No entanto, com os resultados obtidos pela metodologia, todas as categorias de QE podem ser analisadas.

Este trabalho teve como objetivo auxiliar na análise e gerenciamento da QE fornecida pela concessionária. Acredita-se que o uso de SMA em REIs seja uma opção viável.

Limitações a serem abordadas no futuro são os impactos da rede de comunicação relacionados a eventuais perdas de informação/comunicação, atrasos e outras condições críticas de falhas que não foram consideradas (por exemplo: segurança cibernética).

Mediante ao exposto, conclui-se que a utilização de SMAs, considerando a presença de REIs, é de suma importância para as concessionárias no gerenciamento da qualidade de energia fornecida e elimina a necessidade de qualquer tipo de ação/reclamação por parte do consumidor.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento e Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES/PROEX) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem a UFSM, CTISM, a FAPERGS (processo 23081.052615/2019-82), a CAPES/PROEX (processo 23038.000776/2017-54), a FAPERGS (processo 17/ 2551-0000517-1), ao CNPq (processo 465640/2014-1) e ao INCT-

GD (processo 465640/2014-1), pela estrutura e bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2021) Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica.
- Bellifemine, F. et al. (2010) JADE Programmer's Guide.
- Costa, G. B. et al. (2021) 'A multi-agent approach to distribution system fault section estimation in smart grid environment', *Electric Power Systems Research*, (April), p. 107658. doi: 10.1016/j.epsr.2021.107658.
- Jennings, N. R., Sycara, K. and Wooldridge, M. (1998) 'A Roadmap of Agent Research and Development', *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1(1), pp. 7–38. doi: 10.1023/A:1010090405266.
- Merabet, G. H. et al. (2014) 'Applications of multi-Agent systems in smart grids: A Survey', *International Conference on Multimedia Computing and Systems - Proceedings*, pp. 1088–1094. doi: 10.1109/ICMCS.2014.6911384.
- Northcote-Green, J. and Wilson, R. G. (2007) *Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems*. 1st edn, Africa's potential for the ecological intensification of agriculture. 1st edn. Edited by C. Press.
- Rohbogner, G. et al. (2012) 'What the term agent stands for in the Smart Grid definition of agents and multi-agent systems from an engineer's perspective', in *2012 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. Wroclaw, Poland, pp. 1301–1304.
- Shirazi, E. and Jadid, S. (2019) 'A multiagent design for self-healing in electric power distribution systems', *Electric Power Systems Research*, 171(February), pp. 230–239. doi: 10.1016/j.epsr.2019.02.025.
- Shobole, A. A. and Wadi, M. (2021) 'Multiagent systems application for the smart grid protection', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149(June), p. 111352. doi: 10.1016/j.rser.2021.111352.