



Grupo de Estudo de Comercialização, Economia e Regulação do Mercado de Energia Elétrica-GCR

MODELAGEM DE UM SISTEMA PARA GERENCIAMENTO DE CONTRATOS DE VENDAS INTELIGENTES E GERENCIAMENTO DE MANUTENÇÃO EM INFRAESTRUTURA DE MICRORREDES AGREGADAS.

**ROBERTO ALEXANDRE DIAS(1); MÁRIO DE NORONHA NETO(1); VALDIR NOLL(1); RUBIPIARA CAVALCANTE FERNANDES(1).
IFSC(1);**

RESUMO

O crescimento da produção de energia elétrica por fontes alternativas em virtude da redução de custo de seus ativos e a perspectiva de ampliação abertura do mercado livre no Brasil, cria uma necessidade para o desenvolvimento de soluções inteligentes de gerenciamento remoto destes ativos. A possibilidade de agregação de sistemas distribuídos de geração de energia constituindo usinas virtuais ainda tem diversos desafios de pesquisa em aberto. Com base neste cenário a presente trabalho consiste na pesquisa e desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de infraestrutura de microrredes de geração de energia elétrica através de fontes alternativas, com ênfase, inicialmente, em geração fotovoltaica.

O novo marco regulatório do mercado livre de energia, previsto após as discussões da consulta pública 033/2017 do Ministério das Minas e Energia, e a redução de custos para produção de energia por fontes alternativas constituem um cenário propício ao desenvolvimento de novos modelos de contrato de venda de energia. Para tanto, a agregação de microrredes gerenciadas por um provedor de infraestrutura de geração distribuída de energia, exige esforços desafiadores tanto para o gerenciamento da manutenção destes ativos, como para o gerenciamento inteligentes destes contratos.

O presente trabalho consiste na modelagem de um sistema de gestão da manutenção de infraestrutura de geração distribuída de energia elétrica integrado a um sistema de gerenciamento de venda de energia no mercado livre.

Através deste sistema, empresas provedoras de serviços de gerenciamento de infraestrutura de geração de microrredes, poderão implementar usinas virtuais (Virtual Power Plants - VPP) pela agregação de microrredes implantadas em espaços físicos próprios ou de terceiros. Desta forma, o provedor de serviços poderá executar a gestão da manutenção remota de seus ativos, visando a manutenção das especificações de projeto, a manutenção preditiva de falhas e verificação da perda de desempenho em componentes do sistema de geração.

O sistema prevê uma inteligência na gestão dos contratos de forma dinâmica, de dados coletadas e em nuvem computacional oriundos dos consumidores e das unidades geradoras agregadas. Parâmetros ambientais como insolação, condições atmosféricas e climatológicas oriundas de serviços de previsão do tempo, disponíveis em base de dados abertas, poderão ser cruzadas com as informações oriundas dos microrredes para planejamento de capacidade, a fim de subsidiar o sistema de gestão de contratos de venda de energia no mercado livre.

Com a implantação do sistema proposto, será possível definir modelos de negócios para viabilizar comercialmente a adoção do sistema. Um exemplo seria o modelo em que os consumidores da energia atuam como assinantes do serviço. Desta forma, a remuneração ao prestador de serviço poderá ser feita através de uma mensalidade ou por



uma parcela da energia gerada em superávit. Atuando de forma agregada, o provedor de serviço poderá realizar a melhor negociação no mercado livre. Outro exemplo de modelo de negócio poderá ser a renumeração do proprietário de áreas arrendadas para instalação dos microrredes de geração de energia, ou usinas em terrenos de propriedade do provedor do serviço.

PALAVRAS-CHAVE

Smart grids, Gestão pelo lado da demanda, Usina Virtual, Mercado de Energia, Internet das Coisas, Manutenção preditiva.

1.0 - INTRODUÇÃO

De acordo com matéria veiculada no dia 22/01/2018 no Jornal do Estado de Minas (1) o mercado de geração de energia por fontes alternativas está em franca expansão.

Conforme a notícia, os investimentos em fontes alternativas deverão alcançar U\$ 237 bilhões no Brasil em 2040. Em 2017 foram já investidos U\$ 6,2 bilhões. Estima-se que em 2040 a produção de energia por fontes alternativas alcançará 43% da matriz energética nacional, contra os 6% da matriz atual. Ainda de acordo com a matéria, o Brasil passou a fazer parte da IRENA (International Renewable Energy Agency). De acordo com a IRENA, os custos da geração de energia eólica e fotovoltaica, no período de 2010 até o atual, tem registrado queda de 25% e 73%, respectivamente. Estima-se ainda que em 2020 o custo da geração fotovoltaica vai cair pela metade dos valores atuais.

De acordo com o UBS Group (Banco de Investimentos Suíço), o custo da energia solar e eólica poderá ser zerado até 2030 na Europa. No estado da Califórnia (EUA) uma lei já obriga a instalação de painéis fotovoltaicos em imóveis novos. Além disso, muitas empresas que necessitam créditos de carbono estão instalando de forma gratuita painéis solares em residências de pessoas de baixa renda (2).

Estes indicadores apontam para a perspectiva de que a infraestrutura de geração distribuída de energia venha a ser um commodity onde não se cobrará pela instalação, mas sim pelo compartilhamento do superávit gerado. Este cenário já está começando a ser implantado no Brasil. De acordo com matéria veiculada na Folha de São Paulo em 10 de setembro de 2018 (3), a empresa EBES montou uma fazenda de produção de energia fotovoltaica em João Pinheiro/MG com capacidade prevista em 1,2 Megawatt. A energia gerada e injetada na rede da CEMIG será disponibilizada, em forma de serviço de assinatura, para empresas de Belo Horizonte, Itajubá e Pouso Alegre.

Em matéria publicada no portal G1 em 14/08/2018 (4) o mercado livre de energia no Brasil já corresponde a 30% da energia consumida no país, atingindo o marco de 18.046 MW em junho de 2018.

Com a flexibilização deste mercado através de um projeto de lei a ser submetido ao congresso brasileiro, fruto da consulta pública 033/2017 do MME, estima-se um crescimento ainda maior, permitindo no futuro que consumidores residenciais possam ingressar no mesmo.

2.0 - ESTADO DA ARTE

Em (5) é apresentada uma revisão bibliográfica sobre Usinas Virtuais de Energia Elétrica (Virtual Power Plants – VPP). Neste trabalho os autores apresentam os conceitos fundamentais sobre a tecnologia de usinas de energia virtuais e sua taxonomia. Entre os tipos apresentados no artigo, é descrito a Comercial VPP, onde uma agregação de unidades de geração de energia geograficamente dispersas podem ser implementadas e gerenciadas por um provedor de serviços de comercialização de energia. Neste trabalho são destacados os desafios do ponto de vista de infraestrutura de comunicação para a implementação deste serviço.

Em (6) é discutida a necessidade de utilização de soluções de computação em nuvem e análise de dados em larga escala para gerenciamento de smart power grids de abrangência continental. Neste modelo o gerenciamento dos contratos de venda de energia é apresentado como um serviço de software, onde a



infraestrutura utilizada no gerenciamento é apresentada como uma commodity através da Internet. O modelo sugere ainda o estabelecimento de canais seguros de comunicação. Neste trabalho são descritos os componentes de infraestrutura de serviços de computação em nuvem necessários para o desenvolvimento de aplicações em ambiente de smart grid.

A referência (7) mostra uma série de características de um smart grid, dentre as quais se destacam duas: (a) uma grande quantidade de sensores e monitores; e, (b) uma vasta quantidade de dados. A necessidade disto advém do potencial que a informação sobre tais sistemas tem para uso na melhoria das características operacionais dos mesmos. Por outro lado, quando se discute o futuro uso de energia elétrica, repetidamente se lê que em poucos anos a eletricidade será predominantemente processada por conversores estáticos em seu uso final, ou seja, a vasta maioria dos equipamentos elétricos apresentará ou fontes chaveadas em sua conexão com as redes de distribuição, ou retificadores e inversores para o controle de motores elétricos. Isto já ocorre com as tecnologias de geração distribuída, aonde a geração solar fotovoltaica conta com um processamento por conversores estáticos (conversores CC-CC e inversores), a geração eólica também (retificadores e inversores), assim como aplicações em armazenamento (baterias, volantes de inércia, entre outros) e microturbinas à gás (retificadores e inversores).

Quando se discute o uso de tecnologias para smart grids no âmbito de redes de distribuição primárias, redes de transmissão e geração de energia elétrica de grande porte se vislumbra que estes sistemas terão implementados seus próprios sensores e que as redes de comunicação deverão ser dedicadas para cada um destes fins. Contudo, pensando-se em microrredes, nanorredes, smart houses (7) e outros sistemas de energia de pequeno porte, o custo associado à utilização de uma vasta quantidade de sensores pode restringir o uso destas tecnologias, ou atrasar a data de adoção das mesmas. Mesmo em redes de distribuição que venham a operar com conceitos de smart grids, a quantidade de sensores pode causar os impactos citados. A referência (9) discute também que a forma de gerenciar e operar economicamente no futuro as redes de energia podem ser bastante diferentes das atuais e que o uso de parâmetros que quantifiquem disponibilidade e qualidade de energia poderá ser utilizado em negociações sobre custo de energia.

A manutenção preditiva, ou também conhecida como manutenção baseada em condição (CBM, Condition Based Maintenance), segundo (10), pode ser definida como uma política de manutenção que realiza ações de manutenção/ajustes antes que aconteçam falhas nos equipamentos, avaliando suas condições e prevenindo riscos de falhas em tempo real através dos dados coletados dos equipamentos. Os autores apresentam uma revisão bibliográfica sobre CBM, bem como uma classificação de técnicas de acordo com sua abordagem (guiados por dados, baseados em modelos ou híbrida) e um procedimento para a implementação de um CBM. Segundo os autores, a implementação de um CBM envolve várias fases que vão desde o processamento dos dados até a operação da manutenção, passando pelo diagnóstico e prognóstico. Além disso, os autores fazem uma discussão sobre situações de implementação do CBM, abordando, por exemplo, uma situação em que pouco ou nenhum dado está disponível. Neste caso específico, sugerem que se a opção for por utilizar técnicas de aprendizagem de máquina, uma abordagem de aprendizagem não supervisionada pode ser melhor para construir o modelo de referência identificando situações normais e anormais para só depois, aplicar o aprendizado supervisionado e a aprendizagem por reforço para tornar os algoritmos CBM mais precisos.

3.0 - DESCRIÇÃO DA PROBLEMÁTICA

O problema de pesquisa consiste no desenvolvimento de um sistema em que empresas provedoras de serviços de gerenciamento de infraestrutura de geração de microrredes poderão implementar usinas virtuais de energia elétrica (VPP) pela agregação de microrredes implantadas em espaços físicos próprios ou de terceiros. Desta forma, o provedor de serviços poderá executar a gestão da manutenção remota de seus ativos, visando a manutenção das especificações de projeto, a manutenção preditiva de falhas e a verificação da perda de desempenho em componentes do sistema de geração.

O desenvolvimento do sistema ainda prevê a modelagem e o gerenciamento, em tempo real, de contratos de venda de energia excedente no mercado livre. Esta característica é relevante em função do novo marco regulatório previsto para ser implementado brevemente. Um projeto de Lei de Modernização e Abertura do Mercado Livre de Energia Elétrica, baseado no resultado das discussões da Consulta Pública 033/17-MME, já está em análise no Gabinete da Presidência da República. A partir do monitoramento dos parâmetros elétricos



das microrredes e dos dados de consumo das unidades, o gestor da infraestrutura de microrredes poderá atuar com vantagem competitiva no mercado livre através dos dados de disponibilidade do agregado de unidades geradoras com superávit. O sistema ainda prevê um modelo de contrato que permitirá a transmissão de fluxo de potência de unidades superavitárias para unidades deficitárias entre os assinantes ou associados deste serviço. A Figura 1 mostra um modelo inicial do sistema proposto.

Figura 1. Modelo do sistema de gerenciamento integrado de infraestrutura de serviços de geração de energia elétrica distribuída.

4.0 – SOLUÇÃO PROPOSTA

Para resolver o problema de pesquisa é proposto o desenvolvimento de um hardware IoT para aquisição e transmissão de dados, com o emprego do protocolo de comunicação MQTT para enviar os dados para um servidor de dados MQTT (Broker MQTT) instalado em um provedor de nuvem computacional. Os dados enviados ao broker MQTT são consumidos por um Web Service que provê o armazenamento e disponibilização dos mesmos em uma aplicação Web capaz de realizar o gerenciamento da manutenção, a partir da leitura dos parâmetros elétricos e climatológicos da microrrede.

4.1 Hardware IoT

Na presente proposta o dispositivo IoT será responsável em fazer a comunicação com os inversores de frequência instalados na usina fotovoltaica para coletar informações para gestão da manutenção como tensão, corrente e potência gerada. Além disso, deve se comunicar com estações climatológicas que forneçam informações de temperatura e insolação dos painéis.

O monitoramento contínuo das informações elétricas e climatológicas permitirá compor uma assinatura do comportamento do sistema de geração em normal, através de um algoritmo de aprendizado de máquina para manutenção baseado em condição (Condition-based maintenance – CBM) que permitirá gerenciar condições de não conformidade e alarmar para os operadores da usina.

Para adquirir estas informações o dispositivo IoT deverá dispor de uma interface WiFi para se comunicar através de protocolo MODBUS (11) muito comumente disponibilizado nos inversores de frequência e estações climatológicas. Está previsto também a implementação da especificação SUNSPEC que contém um modelo de dados específico para sistema de geração de energia por fontes alternativas.



Uma interface LPWAN (Low Power Wide Area Network) está prevista para comunicação com dispositivos de sensoriamento dos painéis (como insolação e temperatura) que podem estar distantes das redes de dados estruturadas em grandes parques fotovoltaicos. Uma alternativa para isto é a implementação de uma rede LORAWan (Long Range Wan) (12) privada com *endpoints* de baixo consumo de energia e baixo custo, acoplado aos painéis fotovoltaicos e um gateway acoplado ao dispositivo IoT que se comunicará com os inversores e estações climatológicas.

Um dispositivo IoT gateway de baixo custo deverá ser conectado em série com o medidor de energia da concessionária a fim de adquirir os dados de consumo de cada consumidor associado que participara do compartilhamento da geração. Estes dados serão disponibilizados em um sistema computacional em nuvem para processamento o gerenciamento dos contratos de venda de energia no mercado livre.

4.1.1 Especificação SUNSPEC

Segundo (13) a especificação SUNSPEC é mantida pelo SunSpec Alliance, que é uma aliança comercial de desenvolvedores, fabricantes, operadores e fornecedores de serviços atuando em conjunto buscando padrões abertos de informação para a indústria de energia distribuída. Os padrões SunSpec abordam a maioria dos aspectos operacionais de energia fotovoltaica, armazenamento e outras energias distribuídas usinas elétricas na rede inteligente - incluindo sistemas residenciais, comerciais e em escala reduzindo custos, promovendo a inovação e acelerando o crescimento da indústria. Mais de 70 organizações são membros da Aliança SunSpec, incluindo líderes globais da Ásia, Europa e América do Norte. A associação é aberta a corporações, organizações sem fins lucrativos e indivíduos.

As Especificações de Interoperabilidade da SunSpec Alliance descrevem modelos de informações, dados formatos de troca e protocolos de comunicação utilizados em recursos sistemas energéticos distribuídos.

O objetivo das Especificações é reduzir o custo da implementação do sistema. Elas permitem que os aplicativos sejam armazenados usando uma visualização única e padronizada dos componentes de uma usina solar, independente do fabricante de seus componentes e modelo.

4.2 Protocolo MQTT

O protocolo MQTT, um acrônimo para o termo Message Queue Telemetry Transport, é um protocolo de mensagens extremamente simples e leve projetado para uso com dispositivos que não exigem alto consumo de largura de banda. Esses dispositivos interagem como publicar / assinar, ou seja, a troca de informações é feita por publicações endereçadas aos assinantes nos locais de publicação chamados corretores. O corretor faz o endereçamento de publicações e disponibiliza publicações para assinantes registrados em determinados tópicos. Devido à simplicidade de codificação e à necessidade de poucas informações além dos dados a serem transmitidos (sem sobrecarga) tornou-se ideal para o cenário de IoT. Com o MQTT, os dispositivos não precisam estar constantemente sincronizados com o servidor. Os sensores, ao enviar suas leituras, permitem que a própria rede descubra o caminho e a melhor sincronização para entregar a informação. Além disso, o MQTT permite usar dispositivos com baixo poder de processamento e baixa capacidade de memória.

Desenvolvido no final dos anos 90 por Andy Stanford-Clark da IBM e Arlen Nipperda da Arcom (agora Eurotech) com o propósito de ligar sensores de oleoduto a satélites, é um protocolo de comunicação que não requer sincronismo entre o emissor e o receptor em ambos espaço e tempo (14), isso favorece a escalabilidade em ambientes de rede que não são confiáveis a partir de uma perspectiva de continuidade de serviço.

O MQTT tornou-se um padrão OASIS aberto em 2014, com suporte para várias linguagens de programação e implementações em software livre (14) e diferente de outros protocolos, como HTTP (Hypertext Transfer Protocol) e Extensible Messaging and Present Protocol (XMPP), gerencia o MQTT. ser muito mais leve e flexível devido ao modelo de publicação e assinatura.

A grande vantagem do MQTT é que tanto os editores quanto os assinantes não precisam ser sincronizados para enviar e receber mensagens, no entanto, é possível enviar mensagens para o intermediário de forma síncrona e continuar a execução somente após a confirmação e recepção. Como o editor e o assinante estão dissociados,



não há como saber se existe algum assinante no tópico que "escute" as mensagens que serão enviadas e, dependendo dos requisitos da solução e dos níveis de qualidade do serviço, às vezes é necessário fazer com que os assinantes nos editores enviem uma mensagem indicando que receberam e processaram as informações (15).

Para enviar mensagens ou acessar as informações dos tópicos, cada cliente precisa fazer uma conexão com o servidor. Existem vários servidores MQTT disponíveis para várias plataformas, como LINUX, Windows e MacOS, com versões de código aberto, gratuitas ou ainda em versões pagas. Para escolher o servidor MQTT, você deve conhecer as necessidades específicas dos aplicativos que estão em desenvolvimento, bem como os recursos financeiros disponíveis para o projeto.

No contexto deste trabalho o MQTT publicador será instalado no dispositivo IoT que fará a coleta de dados oriundos dos dispositivos de gerenciamento da micro rede e os enviará para o servidor MQTT, também denominado de broker, instalado em um provedor de serviços de nuvem computacional.

Neste trabalho será empregado como broker o Servidor Mosquitto. O servidor Mosquitto é um servidor de mensagens de software livre licenciado (EPL / EDL) pela Eclipse Foundation que implementa o protocolo MQTT. O Mosquitto fornece uma implementação de servidor leve com o protocolo MQTT que é compatível com uma variedade de situações, desde máquinas complexas até equipamentos incorporados de baixo consumo de energia e baixo processamento. Além de aceitar conexões de aplicativos cliente MQTT, o servidor Mosquitto possui um sistema "bridge" que permite conectar outros servidores MQTT em outras instâncias do Mosquitto, permitindo que as redes do servidor sejam construídas e permitindo enviar mensagens de qualquer rede para outra, dependendo a configuração dessas pontes.

4.3 Web Services

Web Services são serviços disponíveis através da Internet, que utilizam o padrão XML (Extensible Markup Language) para troca de mensagens, independente do tipo de Sistema Operacional ou linguagem de programação (17). Regulamentado pela The World Wide Web Consortium (W3C), os Web Services fornecem padrões abertos para a comunicação entre aplicações de diferentes plataformas. Sua implementação pode ser realizada em qualquer linguagem de programação que tenha habilidade de se comunicar através da Internet. Uma das principais vantagens dos Web Services é permitir que diferentes linguagens de programação, em diferentes plataformas de desenvolvimento, possam se comunicar através de padrões abertos e bem definidos (18). Todos os protocolos de Web Services foram criados a partir das definições do XML. Esse tipo de integração não é novidade na Web, programas CGI (Common Gateway Interface) e Java servlets, há muitos anos vêm sendo utilizados para comunicar aplicações. Com o conceito de Web Services temos a promessa de alguma padronização, facilitando a integração de aplicações (17).

No contexto desta proposta será desenvolvido um Web Service para consumir as informações publicadas pelo dispositivo IoT no broker MQTT e armazená-las em um banco de dados padrão SQL, a fim de que sejam disponibilizadas para uma aplicação de gestão da manutenção e de gerenciamento de despacho e venda de energia no mercado livre. Será empregado um Web Service RESTfull, devido ao baixo *overhead* de transmissão e simplicidade de implementação. Para implementação será utilizado o microframework codificado na linguagem Python, denominado FLASK (<https://www.fullstackpython.com/flask.html>) que dispõe uma API RESTfull embutida.

4.5 Manutenção baseada em condição.

Segundo os autores em (23), a manutenção baseada em condições (CBM) é uma estratégia de tomada de decisão que pode permitir o diagnóstico em tempo real de falhas iminentes e também o prognóstico da integridade futura de um equipamento. Para ser implementada, é necessário a coleta periódica ou contínua de dados de diversos sensores e requer o desenvolvimento de um modelo preditivo que possa disparar alertas para a manutenção correspondente. Os autores também diferenciam dois aspectos importantes de um processo CBM, o diagnóstico e o prognóstico. O diagnóstico está relacionado com a detecção, isolamento e identificação de

falhas em situações de anormalidade. Já os prognósticos lidam com previsão de falhas e degradação antes que eles ocorram.

Em (24) os autores relatam que o processo CBM envolve tópicos como mineração de dados e inteligência artificial e tem sido usado em aplicações, como automotiva, manufatura, aviação, defesa e outras indústrias. Os autores também relatam que algoritmos de aprendizado de máquina supervisionados de regressão e classificação são utilizados com bastante frequência no processo CBM, havendo para isto a necessidade de disponibilidade de dados que representem todos os estados de funcionamento da máquina para que um modelo possa ser treinado. Para situações em que não há dados históricos disponíveis, os autores sugerem que uma abordagem utilizando algoritmos de aprendizado de máquina não supervisionados pode ser uma boa opção, sendo que esta abordagem de aprendizagem requer a construção de um modelo de referência que identifique situações normais e anormais de funcionamento. Em (25), os autores identificam duas abordagens para os métodos não supervisionados, sendo elas: (i) Estrutura de subespaço de dados e suas (ii) características de agrupamento. A primeira trabalha com um número menor de características do que as disponíveis nos dados originais e a segunda trabalha com um agrupamento dos dados, reduzindo o número de objetos quando comparado ao conjunto original.

Um exemplo de aplicação em geração de energia solar pode ser encontrado em (26). Neste trabalho, os autores aplicaram redes neurais convolucionais para monitorar a operação de painéis fotovoltaicos com base na predição da curva de potência elétrica diária dos painéis vizinhos. Desta forma, é possível ter uma indicação de falha caso seja observado um desvio significativo entre as curvas previstas e a observada. Os autores demonstraram por meio de experimentos numéricos que o método proposto é capaz de prever com precisão a curva de potência de um painel em bom estado de funcionamento.

4.6 Gestão dos contratos de venda de energia

Do mesmo modo que a inserção em larga escala de GD na rede traz desafios e oportunidades de ganhos de eficiência na operação do sistema, o mesmo pode ser dito sobre o seu efeito no desenho e na operacionalização do mercado. O mercado competitivo de energia elétrica brasileiro, como está organizado, com liquidação centralizada no nível da transmissão é um paradigma bem definido e aceito na indústria. Este mercado estabelecido pela Lei 10.848/2004 - o Novo Modelo do Setor Elétrico promoveu alterações significativas na regulamentação do setor elétrico com vistas a (i) proporcionar incentivos a empresas privadas e públicas para construção e manutenção da capacidade de geração; e (ii) assegurar o fornecimento de energia elétrica por meio de processos licitatórios, visando a modicidade tarifária. Entre as principais modificações introduzidas pela Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico está a criação de dois ambientes para a comercialização de energia.

Com a inserção da GD e digitalização da medição, torna almejavável a extensão do mercado competitivo ao nível distribuição com a formação de um mercado de varejo com acesso direto aos consumidores. O desenho deste mercado está ancorado, segundo (27) na participação de GD e microrredes em mercados de energia elétrica, o que, por sua vez, depende diretamente do nível de liberalização do mercado em que elas estão inseridas. A participação de micro redes é mais efetiva em mercados desverticalizados em que há competição no nível de varejo, preços com suficiente granularidade temporal e espacial e onde exista reconhecimento do valor locacional. Assim, decorrente da concepção de uma microrredes, que é capaz de estabelecer uma plataforma aberta para GDs e cargas, controláveis ou convencionais, transacionarem energia e serviços entre si e, quando em modo conectado, com o mercado e operadores da rede. Nessa condição, a micro rede liquidaria o balanço simultaneamente em dois "mercados": interno (balanço local – negociação dentro da própria micro rede) e externo (balanço exportação – interação com mercado livre).

5.0 Conclusões

O presente trabalho consiste no modelagem e especificação de requisitos e componentes para o gerenciamento da manutenção e de contratos de venda de energia no âmbito de uma usina de geração distribuída de energia por fontes alternativa. Sua principal contribuição é apontar os arranjos tecnológicos e demonstrar a viabilidade de implementação no contexto do novo marco regulatório previsto para o setor elétrico brasileiro.



A implementação da abordagem de solução está em fase inicial, mas entre os principais resultados está a validação de emprego do protocolo MQTT para gestão de ativos e estudo de técnicas de aprendizado de máquina para gestão da manutenção preditiva. Além disso, já foi desenvolvido um protótipo de hardware IoT e *endpoint* LoraWan para aquisição de sinais elétricos e climatológicos.

Como trabalhos futuros está prevista a implementação do padrão SUNSPEC para comunicação com os inversores e estações climatológicas e integração e validação do sistema em uma usina fotovoltaica de 300 KW instalada no Campus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Jornal de Minas. Energias renováveis avançam como fontes alternativas. Obtido da internet em 10/09/2018.
- (2) https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/01/22/internas_economia,932501/energias-renovaveis-avancam.shtml.
- (3) Ecoinventos. California dá painéis solares grátis a famílias com poucos recursos. Obtido da internet em 10/09/2018. <https://ecoinventos.com/california-dara-paneles-solares-gratis-afamilias-con-pocos-recursos/>
- (4) Folha de São Paulo. Assinatura de energia solar leva eletricidade limpa para empresas. Obtido da internet em 10/09/2018. <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2017/08/1913190assinatura-de-energia-solar-leva-eletricidade-limpa-para-empresas.shtml>.
- (5) G1. Mercado livre já responde por 30% da energia consumida no Brasil; entenda como funciona. Obtido da internet em 10/09/2018. <https://g1.globo.com/economia/noticia/2018/08/14/mercado-livre-ja-responde-por-30-daenergia-consumida-no-brasil-entenda-como-funciona.ghtml>.
- (6) Mashhour, Elaheh; Moghaddas-Tafreshi, Seyed Masoud. Bidding strategy of virtual power plant for participating in energy and spinning reserve markets—Part I: Problem formulation. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 2, p. 949-956, 2011.
- (7) Markovic, Dragan S. et al. Smart power grid and cloud computing. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 24, p. 566-577, 2013.
- (8) TUBALLA, Maria Lorena; ABUNDO, Michael Lochinvar. A review of the development of Smart Grid technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 710-725, 2016.
- (9) Rodriguez-Diaz, Enrique, Juan C. Vasquez, and Josep M. Guerrero. "Intelligent DC Homes in Future Sustainable Energy Systems: When efficiency and intelligence work together." **Consumer Electronics Magazine**, IEEE 5.1 (2016): 74-80.
- (10) Cuevas, Jonathan Serrano, et al. "Distributed energy procurement and management in smart environments." **Smart Cities Conference (ISC2), 2015** IEEE First International. IEEE, 2015.
- (11) SHIN, Jong-Ho; JUN, Hong-Bae. On condition based maintenance policy. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 2, n. 2, p. 119-127, 2015.
- (12) MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b3. Disponível na Internet em Março de 2019 em: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf
- (13) Site da LoraWan Alliance. Disponível na Internet em Março de 2019 em: <https://lora-alliance.org/about-lorawan>.
- (14) SUNSPEC Technology Overview. Disponível na Internet em março de 2019 em: <https://sunspec.org/download/>
- (15) Yuan, M. Getting to know MQTT. Why MQTT is one of the best network protocols for the Internet of Things. 2017. <https://www.ibm.com/developerworks/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>
- (16) Hillar, G. C. MQTT Essentials – A lightweight IoT Protocol. 1 ed. Birmingham: Packt, 2017. 263p.
- (17) Eclipse Foundation web page <http://www.eclipse.org/org> Accessed in 11/15/2018.
- (18) CERAMI, E. (2002) Web Services Essentials: Distributed Applications with XML-RPC, SOAP, UDDI & WSDL. O'Reilly & Associates Inc., Sebastopol, CA.

- (19) WOLTER, R. (2001). Web Services and Other Distributed Technologies Developer Center: XML Web Services Basics. [Online] Disponível: <http://www.msdn.microsoft.com/library/en-us/dnwebserv/html/webservbasics.asp>
- (20) CHINNICI, R.; GUDGIN, M.; MOREAU, J.; SCHLIMMER, J.; WEERAWARANA, S. (2004) Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0 Part 1: Core Language. [Online] Disponível: <<http://www.w3.org/TR/2004/WD-wsdl20-20040803>>.
- (21) OASIS Open. UDDI.org. (2005). [Online] Disponível: <<http://www.uddi.org>>.
- (22) LIANG, Yingyi; CAMPBELL, Roy H. Understanding and simulating the IEC 61850 standard. 2008.
- (23) PENG, Y.; DONG, M.; ZUO, M. J. Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: a review. Int J Adv Manuf Technol – Springer. 2009
- (24) AMRUTHNATH, N.; GUPTA, T. Fault Class Prediction in Unsupervised Learning Using Model-Based Clustering Approach. 2018 International Conference on Information and Computer Technologies. 2018.
- (25) Strączkiewicz M, Czop P., Barszcz T. Supervised and unsupervised learning process in damage classification of rolling element bearings, Diagnostyka. 2016.
- (26) HUUHTANEN, T.; JUNG, A. Predictive maintenance of photovoltaic panels via deep learning. 2018 IEEE Data Science Workshop. 2018.
- (27) OLIVEIRA, G. A. Microrredes em mercados de energia elétrica. UFSC, 2017.

4.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



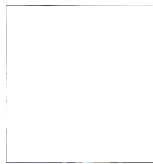
Roberto Alexandre Dias. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1996) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2004). Atualmente é professor do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecatrônica e foi Coordenador do Mestrado Profissional em Mecatrônica no Campus de Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) entre os anos de 2013 e 2015.



Mario de Noronha Neto. Possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Desde de 2005 é professor do Instituto Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Comunicações e Processamento de Sinais, atuando nos temas: comunicação digital, tecnologias de comunicação sem fio e aprendizagem de máquina aplicada à sistemas de comunicação. Atuou como chefe do Departamento de Inovação do Instituto Federal de Santa Catarina no período de 2010 a 2011 e como Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação do IFSC no período de 2011 a 2016.



Valdir Noll. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (1989), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1993), na área de Eletrônica de Potência e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006), na área de Metrologia Industrial por meios ópticos (laser). Atualmente é prof. de ensino superior do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina na área de Mecatrônica Industrial.



Rubiapiara Cavalcante Fernandes. Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006). Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) e pesquisador da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/LabPlan), trabalhou como consultor técnico da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Regulação e Mercado de Energia Elétrica