



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SCADA APLICADO A UMA BANCADA DIDÁTICA COM MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Hans Victor B. Bitencourt¹

André Abelardo Tavares²

Resumo: O presente trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema supervisor aplicado a uma bancada didática com micro geração distribuída. Dois *softwares* foram utilizados neste projeto o Action.NET e o ScadaBR. A etapa inicial do processo consiste na definição das variáveis a serem controladas, e posteriormente são definidas as formas como esses dados serão apresentados. A coleta de dados e o controle dos elementos é feita utilizando multimedidores e controladores programáveis. Com o sistema em pleno funcionamento, é possível monitorar as grandezas de tensão, corrente e potência das cargas e das gerações, e também realizar a comutação das mesmas.

Palavras-chave: Controladores. Microgeração. SCADA. Supervisor. *Software*.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia está relacionado ao desenvolvimento da sociedade, desde o princípio, o homem utilizou desse artifício como suporte para o seu processo evolutivo. Fato que condicionou o crescimento da matriz energética mundial [1].

Os combustíveis de origem fóssil são recursos esgotáveis. Grande parte da matriz energética provém desses combustíveis. Em relação à geração de energia elétrica, estudos da Agência Internacional de Energia (2011) projetam que em 2050, esse setor será responsável por 23% da demanda mundial de energia [2].

O crescimento do consumo de energia elétrica é condicionado pelo aumento populacional, desenvolvimento tecnológico e o constante avanço das indústrias.

A geração de energia elétrica no Brasil apresenta um diferencial em relação ao restante do mundo, pois 81,7% são gerados a partir de recursos renováveis. A geração hidrelétrica é responsável por 68,1% da oferta interna de energia. Porém essa fonte de energia é regulável pela sazonalidade das águas, e também enfrenta dificuldades de implantação de novos grandes empreendimentos. Portanto, esses fatores reforçam a necessidade de investimento em outros recursos [3].

¹ Graduado em Engenharia Elétrica, Faculdade Satc. E-mail: hansvictorbbitencourt@gmail.com

² Coordenado Faculdade Satc. E-mail: andre.tavares@satc.edu.br



No Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as residências são responsáveis por 29% do consumo de energia elétrica, ficando atrás apenas do setor industrial que detém 36%. No município de Criciúma no estado de Santa Catarina, segundo dados da Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), os índices do setor residencial são ainda maiores, alcançando 41% do consumo total [4;5].

Tendo como base esses dados e levando em consideração o aumento da demanda de energia elétrica, é imprescindível que sejam incentivados outros meios de geração de energia.

Junto com esse crescimento da demanda de energia elétrica algumas ferramentas podem ser empregadas com o intuito de aumentar a confiabilidade e a agilidade do sistema. Uma dessas ferramentas é o sistema SCADA (do inglês: *Supervisory Control and Data Aquisition*), *softwares* utilizados para monitorar e controlar variáveis específicas do processo. Com isso, todas as informações importantes do complexo podem ser visualizadas em um único ponto, e assim tornando-o mais intuitivo e eficaz [6].

Outro fator a ser considerado em um meio onde interagem diferentes fontes de geração é o despacho. Nesse item deve ser avaliado o comportamento da geração em relação à disponibilidade de suas fontes, para com isso priorizar o despacho econômico [7].

Na Escola Superior de Tecnologia e de Gestão Instituto Politécnico localizada em Portugal, na cidade de Bragança, existe um sistema de instrumentação virtual para a análise de potência. Esse é um laboratório virtual, modular e flexível de baixo custo para o monitoramento da qualidade e gestão da energia consumida [8].

Este trabalho visa desenvolver um sistema SCADA para fazer o monitoramento e controlar uma bancada didática com microgeração distribuída, além disto, promover a interação dos acadêmicos com a bancada, e com isso eles poderão visualizar na prática os conhecimentos adquiridos nas disciplinas relacionadas ao tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, são abordados os fundamentos teóricos para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, é apresentado um breve histórico sobre a relação da energia com o desenvolvimento da sociedade; na sequência são



expostos temas relacionados à energia solar, radiação solar, elementos básicos de um sistema de geração fotovoltaico, termelétrico e eólico, geração distribuída, aspectos de um sistema de potência e, por último, o sistema supervisório.

2.1 A ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE

No século XIX, a energia elétrica começou a ser utilizada nos telégrafos para comunicação. Outro avanço ocorreu em 1878 com a criação da lâmpada incandescente de filamento, por Thomas Edison e a apresentação da primeira locomotiva elétrica de Werner Siemens. Após isso Nikola Tesla desenvolveu o motor de corrente alternada, que passou a ser utilizado nas fábricas [1].

Paralelo à criação do motor à indução, foi o aperfeiçoamento da turbina hidráulica para a geração de energia elétrica, e assim nascem as primeiras hidroelétricas [1].

No Brasil em 1879, Dom Pedro II inaugura a iluminação elétrica, com seis lâmpadas na antiga estação da corte. Passados quatro anos, o Rio de Janeiro é a primeira cidade da América do Sul a ter iluminação elétrica pública, com a inauguração da primeira usina termoeletrica, com 36 lâmpadas [9].

Desde então o uso da energia elétrica passou a ser sinônimo de desenvolvimento. Em 1883, entra em operação a usina hidrelétrica de Ribeirão do Inferno, as condições hídricas brasileiras favoreceram os investimentos para o desenvolvimento das hidrelétricas. Esse fato é comprovado pelo Balanço Energético Nacional (BEN), do ano de 2017 tendo como base o ano de 2016, onde as hidrelétricas foram responsáveis por 68,1% da matriz energética brasileira [3;10].

A expansão destes modelos de usina está enfrentando algumas dificuldades, pois sua construção gera alguns impactos socioambientais negativos, dentre eles pode-se destacar as grandes áreas que precisam ser alagadas por seus reservatórios. Para o aproveitamento desses recursos hídricos, essas geradoras são instaladas longe dos grandes centros de consumo, isso faz com que sejam necessários investimentos adicionais para a construção de grandes linhas de transmissão [11].

A capacidade de geração das usinas hidroelétricas também é afetada pela sazonalidade das chuvas. Dispondo desses fatores, para um país que está em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, faz-se necessário o incentivo à produção e à pesquisa de novas fontes de geração de energia elétrica [11].

Ao analisar as origens das diversas fontes de energia pode-se dizer que praticamente todas precisam do sol para existir [12].

A exemplo disso, há o ciclo das águas, que inicia no processo de evaporação e ocorre por consequência do sol, assim originam-se as águas para represamento. Os ventos também são resultado da radiação solar, que induz a circulação atmosférica. Os combustíveis fósseis foram gerados através dos resíduos de vegetais e animais e, para que se desenvolvessem, foi necessária a presença do sol. Tendo como base o que foi exposto, fica evidente a importância da energia solar [13].

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

O mapa da Fig.1 mostra a média anual da irradiação global que incide sobre o território do Brasil.

Fig. 1: Média irradiação global horizontal no Brasil [15].



A radiação solar é definida como a energia propagada pelo sol por meio das ondas eletromagnéticas ou fótons, e a irradiação solar é a quantidade de radiação solar que incide sobre uma superfície em um determinado período de tempo [15].

A irradiância solar é dada em função da unidade de área, sua unidade de medida é Watt (W) por metro quadrado (m^2), é este o parâmetro que é utilizado para determinar o quanto um sistema fotovoltaico pode gerar de energia elétrica [15].

A luz solar pode atingir a superfície terrestre de duas maneiras: a direta, que segue a direção do sol; e a difusa, proveniente da atmosfera [15].

A quantidade de energia solar que atinge a Terra é $1,5 \times 10^{18}$ kWh, isso corresponde a 10.000 vezes o consumo de energia neste mesmo período. Porém, devido à reflexão, absorção e à dispersão, apenas uma parte da radiação solar chega até a superfície da Terra, em boas condições climáticas ao meio-dia o nível de irradiância é de, aproximadamente, 1000 W/m^2 [13;14].

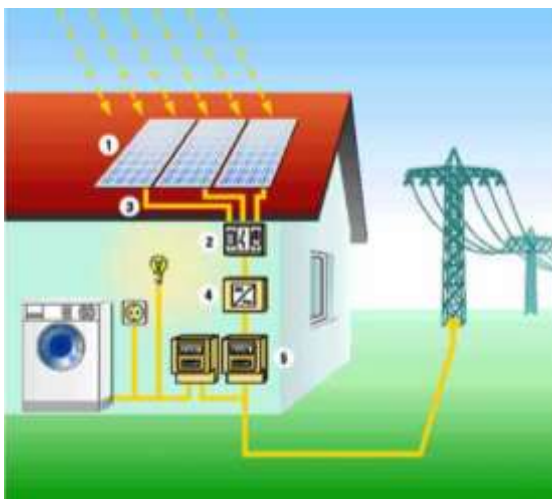
A irradiação global horizontal é a soma da radiação direta e da difusa e pode ser medida em kWh/m^2 [15].

A menor média diária de irradiação global horizontal é no litoral norte de Santa Catarina, com um nível de $4,25 \text{ kWh/m}^2$. A média anual brasileira, em qualquer ponto do território, varia de 1500 kWh/m^2 a 2000 kWh/m^2 . Esses valores são superiores a maioria dos países da União Européia, como a Alemanha com uma taxa anual entre 900 a 1250 kWh/m^2 , a França entre 900 a 1650 kWh/m^2 , a Espanha entre 1200 a 1850 kWh/m^2 , onde existem fortes incentivos governamentais para a utilização dos recursos solares [15].

2.3 PRINCIPAIS ELEMENTOS DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO: TERMOELÉTRICO, FOTOVOLTAICO E EÓLICO

Os elementos básicos de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica estão representados na Fig. 2.

Fig. 2: Elementos sistema de geração fotovoltaico [17].



Sendo os itens: 1 módulos fotovoltaicos; 2 caixa equipada com dispositivos de proteção para DC; 3 condutores; 4 inversor de corrente contínua para alternada; 5 medidor bidirecional e equipamentos de proteção AC [17].

Dois fatores estão relacionados à capacidade de geração de um sistema fotovoltaico, o nível de radiação solar incidente sobre o módulo e a quantidade desses elementos [7].

Para determinar a potência gerada, é utilizada (1).

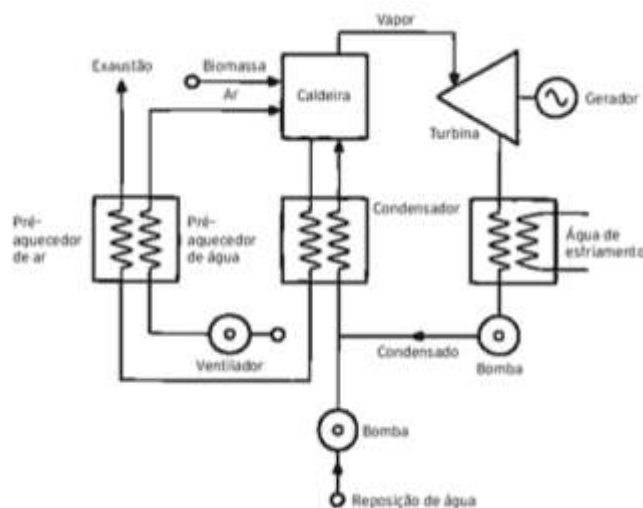
$$P_g(t) = \eta \times A \times R_s(t) \quad (1)$$

Sendo: η o rendimento total do sistema; A a área do painel solar; e $R_s(t)$ a radiação solar incidente, em função do tempo [7].

Já os componentes de uma geração termelétrica são representados na Fig.

3.

Fig. 3: Topologia básica geração termelétrica [7].



Essas centrais têm seu funcionamento baseado no ciclo térmico de Rankine, seus elementos fundamentais são: a bomba d'água, a caldeira, a turbina e o condensador [7].

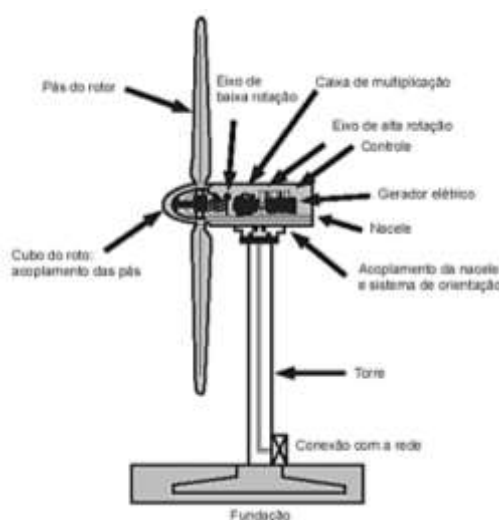
Em relação à potência gerada por essas máquinas, ela pode ser obtida a partir de (2).

$$P = m(h_1 - h_2) \quad (2)$$

Onde: P é a potência disponível; m é a massa de fluido passando pela transformação térmica, por unidade de tempo (em kg/s); e h a entalpia específica do fluido, dada em kJ/kg , em que: h_1 , é a entalpia na entrada da máquina térmica e h_2 a de saída [7].

E por último o gerador eólico, que apresenta a topologia descrita na Fig. 4.

Fig. 4: Componentes aero gerador [18].



Nacele é o nome dado ao compartimento onde ficam alojados os elementos de geração [18].

Nesse sistema, a potência elétrica entregue a carga em AC é dada por (3).

$$P_{carga} = \text{potência elétrica} \times \eta_I \quad (3)$$

Dado que: η_I é o rendimento do inversor e a potência elétrica é de 30% da multiplicação da área do rotor pela potência média bruta. A última está relacionada com o fluxo eólico total e a área dos coletores dos aerogeradores.

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) classifica a geração distribuída em: microgeração, e minigeração distribuída [19].



A primeira aplica-se à central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 kW, sua fonte deve utilizar cogeração qualificada³, ou fontes renováveis de energia elétrica [19].

Enquanto a outra se refere a centrais com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes que utilizam como combustível a água, ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, ou para outras fontes renováveis [19].

Essas gerações satisfazem as questões de resiliência e necessidades de confiabilidade, fornecendo efetivamente uma fonte de alimentação ininterrupta para cargas críticas. Eles também podem melhorar o desempenho ambiental, facilitando a integração de recursos renováveis, como a energia fotovoltaica e outras centrais de energia combinadas [20].

Esses sistemas oferecem oportunidades de fornecimento econômico de energia, capacidade e serviços auxiliares. Como consequência desses fatores, as gerações distribuídas estão sendo fomentadas [20].

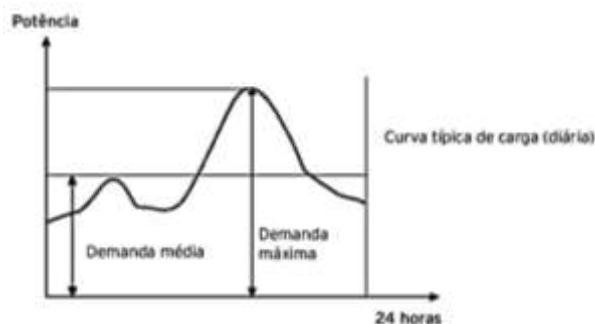
As novas regulamentações referentes a essas formas de geração propiciam vantagens para a utilização delas. Ainda existem problemas quanto ao estabelecimento de linhas de responsabilidade, quando esses projetos envolvem diferentes entidades, responsáveis pela construção e operação [20].

2.5 ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS EM UM SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

Em um sistema carga/geração, algumas características devem ser observadas, dentre elas está a curva de carga, exemplificada na Fig. 5.

³Cogeração qualificada é definida pela ANEEL, como um processo de geração simultânea de duas ou mais energias a partir de uma mesma fonte energética.

Fig. 5: Curva de carga [7].



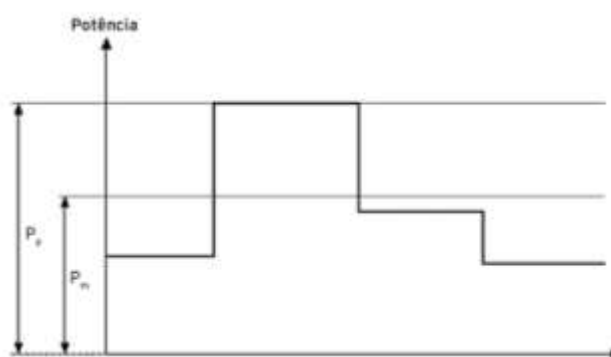
Essa curva retrata o comportamento da carga ao longo de um período de tempo. Com isso, pode-se perceber dois comportamentos: a demanda máxima e a demanda média. A última deve estar relacionada à capacidade do gerador em fornecer energia continuamente, enquanto a outra se relaciona com o potencial de fornecimento instantâneo [7].

Com esse dado, é possível fazer a melhor alocação dos sistemas de geração dentro do tempo e do espaço [7].

Outra característica a ser observada é o fator de carga, sendo esse a relação entre a demanda média e a máxima [21].

A curva de produção (despacho) da geração é exemplificada na Fig. 6.

Fig. 6: Curva de produção (despacho) de uma usina [7].



Sendo a produção de ponta (P_p), o maior valor de geração registrado em um determinado período de tempo, limitado pela capacidade de geração máxima do gerador ou da usina e a produção média (P_m). A curva de produção é similar à curva de carga, porém, analisada do lado da geração [7].



A curva de carga de uma geração termelétrica depende da necessidade da carga, pois seu combustível está sempre disponível, diferente das gerações de fontes renováveis que dependem, na maioria das vezes, de fatores climáticos para poder produzir [7].

O fator de capacidade é também um aspecto dos sistemas de geração, esse é representado pela relação da produção média com a produção de pico [7].

2.6 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Os sistemas SCADA são utilizados para o acompanhamento das variáveis de um processo e possuem a capacidade de armazenar as informações em bancos de dados para futuras consultas [22].

A interface gráfica presente nesse *software* permite ao operador a fácil visualização de todas as etapas do processo na planta industrial [23].

Alguns parâmetros de limites podem ser relacionados com as variáveis monitoradas, quando esses forem atingidos um alarme será ativado no SCADA, nesse momento serão executadas as etapas que foram programadas, também pode ser enviada uma mensagem por e-mail ou para um celular, ativado um som ou uma mudança visual na tela. Com isso, ocorre o aumento da eficiência e da qualidade do processo de tratamento de falhas, cabendo ao operador tomar as decisões corretas para o tratamento [22].

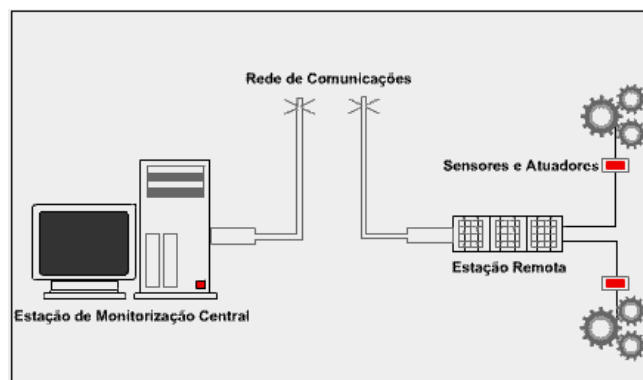
Os principais elementos do sistema supervisório são: sensores, atuadores, estações remotas, redes de comunicação e estações de monitoração central [24].

Os sensores são elementos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, com este efeito é possível mensurar algumas variáveis, tais como: corrente, velocidade, temperatura, dentre outras grandezas. Em alguns casos, para a utilização desse sinal de saída em um sistema de controle, faz-se necessária a sua manipulação, para ser possível realizar a leitura [24].

Os dispositivos responsáveis por modificar uma determinada variável são os atuadores, estes recebem um sinal do controlador e atuam sobre o sistema [24].

Na Fig. 7 é apresentado o esquema básico de um sistema SCADA.

Fig. 7: Esquema básico SCADA [25].



Nas estações remotas é onde se inicia o processo de controle e aquisição dos dados, são compostas por Controlador Lógico Programável (CLP) e *Remote Terminal Units* (RTUs).

AS RTUs são unidades computacionais dedicadas a instalações onde se deseja realizar algum tipo de automação, responsáveis por fazer a leitura dos dispositivos que estão relacionados ao seu controle. São capazes de realizar cálculos ou controle, e atualizar saídas.

Os CLPs possuem uma diferença em relação às RTUs, pois apresentam maior flexibilidade na linguagem de programação e no controle de entradas e saída. Já as RTUs contam com maior precisão e sequenciamento de eventos, e com uma arquitetura distribuída entre a unidade de processamento e os cartões de entrada e saída [25].

A rede de comunicação é o caminho por onde são trocadas as informações entre os controladores e o SCADA, considerando os requisitos e a distância entre os elementos, esta pode ser feita por meio de cabos Ethernet, fibras ópticas, linhas dedicadas, rádio modems, entre outros meios [25].

Essas informações são centralizadas nas estações de monitoração, que são os principais elementos do sistema SCADA. Dedicados a coletar as informações das unidades remotas e agir conforme os eventos detectados, podem ser centralizadas em um único computador ou distribuídas em uma rede, a fim de compartilhar as informações [25].



2.7 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SUPERVISÃO

Para a elaboração de um bom sistema supervisório, algumas etapas devem ser seguidas. A primeira dessas é o entendimento do processo, os passos seguintes são: levantamento das variáveis do processo, planejamento da base de dados, dos alarmes e da hierarquia de navegação entre telas, o desenho das telas, gráfico de tendência, planejamento do sistema de segurança e o padrão industrial de desenvolvimento [26].

2.7.1 Entendimento do processo

Nesta etapa, são levantadas todas as informações sobre o processo a ser automatizado, ou aplicado o sistema de supervisão. Para esse detalhamento, é necessário buscar dados com os operadores, especialistas no sistema, com a gerência e o corpo administrativo. Assim, o sistema deve ser fragmentado em partes, para com isso analisar as variáveis que precisam ser monitoradas [26].

2.7.2 Variáveis do processo

Estas serão os dados a serem monitorados pelos controladores e repassados ao sistema supervisório. O tráfego de informações com uma boa velocidade aumenta a performance do sistema, para que isso ocorra deve-se limitar o número de variáveis monitoradas, selecionando somente as indispensáveis para o funcionamento [26].

2.7.3 Banco de dados

Nesse momento do planejamento são abordadas as informações sobre o fluxograma do processo, a lista dos registradores do CLP e lista de alarmes. A criação dos nomes das variáveis deve seguir uma lógica para facilitar o tratamento desses dados. Também é selecionada a velocidade em que será feita a atualização dessas variáveis no banco de dados [6].



2.7.4 Planejamento dos alarmes

Juntamente com os responsáveis técnicos do processo são definidos os alarmes do sistema e como estes serão sinalizados ao operador, podendo ser por meio sonoro ou visual. Podem ser definidos como alarmes normais ou pré-alarmes, e alarmes de fatos. O primeiro é somente um estado de atenção do sistema, já o segundo requer uma intervenção sobre a planta, para assim voltar a operar normalmente [6].

2.7.5 Hierarquia de navegação entre telas

A hierarquia de navegação é formada por uma série de telas que fornecem progressivamente detalhes das plantas e seus constituintes. A organização da navegação torna o sistema claro e consistente com a realidade, guiando o serviço dos usuários [6].

2.7.6 Desenho das telas

Uma tela bem estruturada é fundamental para aumentar a eficiência do sistema, tornando-o mais intuitivo facilitando a utilização pelo usuário. Para isso, é necessária a utilização de símbolos, cores e nomes de botões, de fácil compreensão [26].

2.7.7 Gráfico de tendências

Com estes gráficos, é possível analisar a comportamento de determinadas variáveis ao longo do tempo. Com esses dados, o operador poderá avaliar de forma eficaz as situações críticas do sistema [26].

2.7.8 Planejamento do sistema de segurança

Para manter o sistema em segurança, é aconselhável que todos os acessos sejam registrados para poder monitorar as atividades dos usuários [6].



2.7.9 Padrão industrial

Os programas supervisórios são compatíveis com diversos sistemas operacionais, sendo o sistema Windows o que possibilita redução no tempo de aprendizagem caso o operador estiver familiarizado com outras aplicações Microsoft e seu ambiente de trabalho [26].

2.8 SOFTWARES DE SUPERVISÃO, CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS

Neste item, serão abordadas características de três programas SCADA: o Action.NET e o ScadaBR. O último de código aberto e gratuito. Seu projeto iniciou na MCA Sistemas em Florianópolis-SC, desenvolvido na Fundação CERTI, com participação das empresas Unis Sistemas e Conetec. Pode ser executado em sistemas Windows, Linux e Mac [27].

Possui um amplo campo de aplicação nas mais diversas áreas da automação, dentre elas, pode-se destacar: laboratórios, automação predial, saneamento, sistemas de energia. Dentre suas principais funções está a comunicação em mais de 20 protocolos incluindo: OPC, Modbus, ASCII, Bacnet. Pode gerar gráficos e relatórios, permite o desenvolvimento de lógicas programáveis e alarmes [27].

Para seu funcionamento, é necessária a instalação do Java 6 e do Apache Tomcat 6. O acesso ao programa é feito através de um navegador para internet, preferencialmente Firefox ou Chrome, pelo endereço localhost:8080/ScadaBR, a palavra admin é utilizada como usuário e senha de acesso à plataforma [27].

Sua área de trabalho é de fácil compreensão e utilização, permite a visualização de variáveis, gráficos, configuração de alarmes, dentre outras ferramentas [27].

Já o Action.NET, desenvolvido pela empresa SPIN, sua matriz está localizada em Brasília-DF, é executado em ambiente Windows [28].

Esse *software* possui 4 módulos de licença de operação, com diferentes funcionalidades, seu preço também pode variar de acordo com a quantidade de pontos de comunicação necessários, neste quesito ele pode variar desde 75 pontos para versão de demonstração até um número ilimitado de pontos. [28].

Sua interface de comunicação é compatível com os protocolos: Modbus - TCP / IP e RS-232, RTU e ASC, Mitsubishi MELSEC Q, OPC DA Cliente, Modbus



Slave - TCP / IP e, protocolo Modbus escravo RS-232, RTU e ASC. O usuário tem a possibilidade de desenvolver novas bibliotecas, programas e módulos de comunicação [28].

Com essa ferramenta, é possível criar aplicações complexas rapidamente, utilizando recursos que já estão carregados, sem a necessidade da utilização de linhas de programação [28].

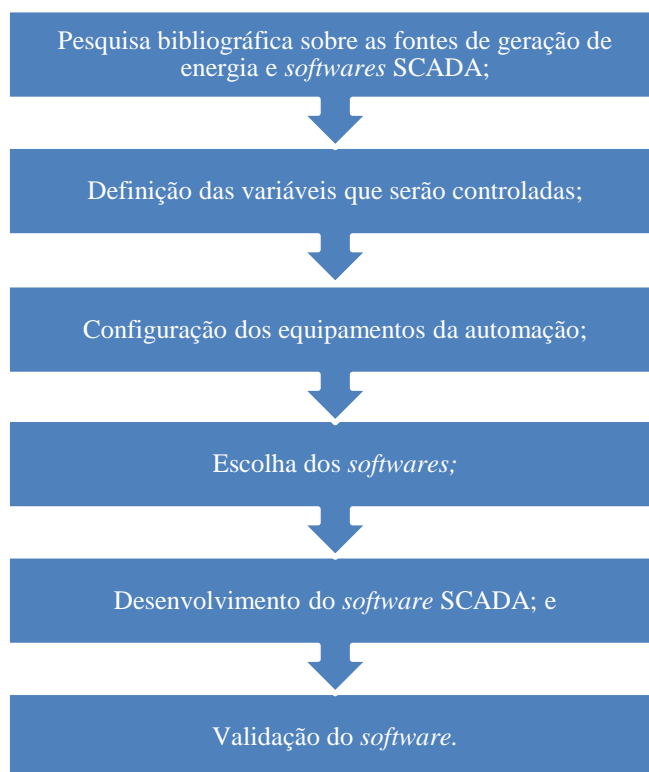
Essa solução é a única nacional aplicada ao Sistema Nacional de Observabilidade e Controlabilidade (SINOCON) [28].

Ambos os programas atendem a diversos tipos de aplicações, desde as mais simples até as mais complexas, cabendo ao usuário a escolha pela plataforma que lhe satisfaz.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste item, são relatados os desenvolvimentos realizados para a concepção do sistema supervisório aplicado à bancada didática com microgeração distribuída. A metodologia utilizada no projeto é descrita no fluxograma da Fig. 8.

Fig. 8: Fluxograma do desenvolvimento do projeto



Fonte: Do autor (2018)



A elaboração do programa supervisorio passa por uma pesquisa bibliográfica com o intuito de agregar conceitos e definições sobre as fontes de geração de energia, que integram a microgeração distribuída, e os procedimentos para a preparação do *software* SCADA.

Com base na revisão realizada, são definidas as seguintes variáveis: tensão de fase e de linha; corrente nas fases; potência total, ativa, reativa e aparente por fase; THD de corrente e tensão nas fases; fator de potência das fases; e níveis dos harmônicos de 3ª, 5ª, 7ª e 11ª ordem. Essas serão monitoradas também é possível comutar os filtros e as cargas do sistema.

Na configuração dos equipamentos de controle, são inseridas as variáveis definidas e configurados os protocolos de comunicação.

Em seguida é feita a análise a respeito das características e disponibilidade dos *softwares* disponíveis. Com o intuito de comparar seus desempenhos, foram utilizadas duas plataformas: a do ScadaBR e a do Action.NET.

No desenvolvimento do sistema de supervisão e controle, é realizada a configuração das interfaces de comunicação entre os equipamentos e o programa. Também são configurados os endereços, os registros, as variáveis do processo. Na sequência é feito o tratamento para a apresentação dos dados. E por último a criação das telas do supervisorio.

A fim de validar o programa desenvolvido, é feito um comparativo entre os valores das variáveis lidas pelo multimedidor e os supervisorios: ScadaBR e o Action.NET. Um outro ensaio é realizado com o intuito de avaliar o desempenho dos *softwares* no item referente ao acionamento das cargas, dos filtros e das gerações.

3.1 TOPOLOGIA GERAL DA BANCADA DIDÁTICA

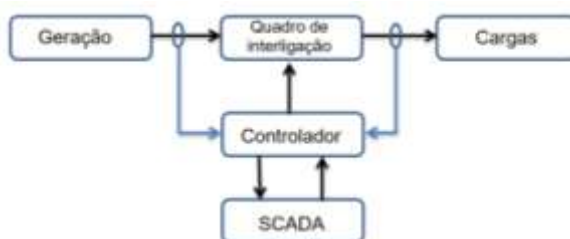
A bancada onde será aplicado o sistema de supervisão está exposta na Fig. 9.

Fig. 9: Bancada didática [Do Autor, 2018].



A topologia do sistema está esquematizada conforme a Fig.10.

Fig. 10 – Topologia do modelo [Do Autor, 2018].



Os elementos são descritos a seguir.

3.2 GERAÇÃO

Composta pelas fontes de geração de energia, sendo estas: uma fonte eólica, um gerador que representa uma termelétrica, e uma geração fotovoltaica. A última com capacidade de geração de 1500W. Na Tab. 1, estão os dados do inversor do sistema fotovoltaico.

Tab. 1: Dados de placa do inversor

Modelo do inversor	SB 1.5-1VL-40
VDC max	600V
VDC MPP	160 – 500V
IDC max	10A
ISC PV	18A



VAC	230V
PAC	1500W
Smax	1500VA
Frequência AC	60Hz
IAC max	7A
cos(φ)	1

Fonte: Do Autor (2018)

Em relação ao sistema que representa uma geração termelétrica é utilizado um gerador fabricado pela WEG que possui potência nominal de 700VA. As demais características desse elemento são descritas na Tab. 2.

Tab. 2: Especificações do gerador

Modelo do gerador	WEG GTA 160
Potência	700VA
Rotação	1800rpm
Frequência	60Hz
Tensão	220/380/440V
Corrente	1,96/1,13/0,98 ^a
cos(φ)	0,8

Fonte: Do Autor (2018)

Um motor assíncrono modelo W22 Plus, também fabricado pela WEG, com 0,5cv de potência, está conectado ao eixo desse gerador para simular uma turbina. Na Tab. 3 estão expostos os dados de placa desse motor.

Tab. 3: Dados de placa do motor assíncrono

Modelo	WEG 22 Plus
Potência	0,5cv
Rotação	1680rpm
Tensão	220/380V



Corrente	1,87/1,08A
cos(φ)	0,72
Rendimento	72%

Fonte: Do Autor (2018)

O controle desse motor é feito pelo inversor CFW 70, da empresa WEG. As características desse equipamento estão expostas na Tab.4 .

Tab. 4: Dados de placa do inversor WEG

Modelo do inversor	CFW701 HVAC
Tensão de alimentação	200 – 240V
Corrente de alimentação	14,4A
Frequência de alimentação	50/60Hz
Tensão de saída	0 – 380V
Corrente de saída	7A
Frequência de saída	0 – 300Hz
Potência	2cv

Fonte: Do Autor (2018)

Já a fonte eólica é composta por um aerogerador modelo Air Breeze, com capacidade para fornecer até 160W de potência. Um motor de 300W, fabricado pela Imotech, está conectado ao eixo desse gerador, para simular diferentes condições de vento. Os dados do aerogerador estão descritos na Tab. 5.

Tab. 5: Dados de placa do aerogerador [29]

Modelo	Air Breeze
Peso (Kg)	6
Diâmetro do Rotor (m)	1,17



Velocidade do vento no arranque (m/s)	2,7
Kilowatt Hora/mês (kWh/mês) (com 5,2m/s de velocidade média do vento)	38
Velocidade máxima do vento (m/s)	49,5
Potência nominal (W) (com a velocidade do vento em 12,5m/s)	160

A especificações do motor aplicado estão na Tab. 6.

Tab. 6: Dados de placa motor 300W [30].

Corrente I_0 (A)	3,9
Corrente I (A)	34
Rotações por minuto RPM_0 (RPM)	2450
Rotações por minuto (RPM)	1800
Potencia (W)	300
Tensão (V)	14,5
Torque (Nm)	1,55

Esses são os principais elementos que compõem o sistema que geração.

3.3 QUADRO DE INTERLIGAÇÃO

Nele estão os elementos comutadores, responsáveis por fazer o chaveamento das fontes de geração, os barramentos de alimentação, um modelo de uma linha de transmissão de 13,8 kV e extensão de 2 km, o CLP e o inversor que comanda o motor conectado ao gerador síncrono.



3.4 CARGAS

São representadas pelo painel de cargas, com potência de 7 a 8 kVA e fator de potência de 0,8.

3.5 CONTROLADORES

Fazem as leituras dos parâmetros de tensão e corrente das fontes de geração e da carga, e comandam os elementos comutadores.

3.6 SCADA

O *software* reúne as informações dos parâmetros da geração e da carga, permite também o comando remoto da operação, chaveamento dos elementos geradores e das cargas.

As variáveis monitoradas pelo programa são: tensão, corrente e potência das gerações e das cargas e também o nível de distorção harmônica.

Outra característica do sistema é o comando remoto para chaveamento das cargas e das gerações.

3.7 EQUIPAMENTOS DE MONITORAÇÃO E CONTROLE

A arquitetura de ligação entre os equipamentos do sistema e o supervisor está descrita na Fig.11.

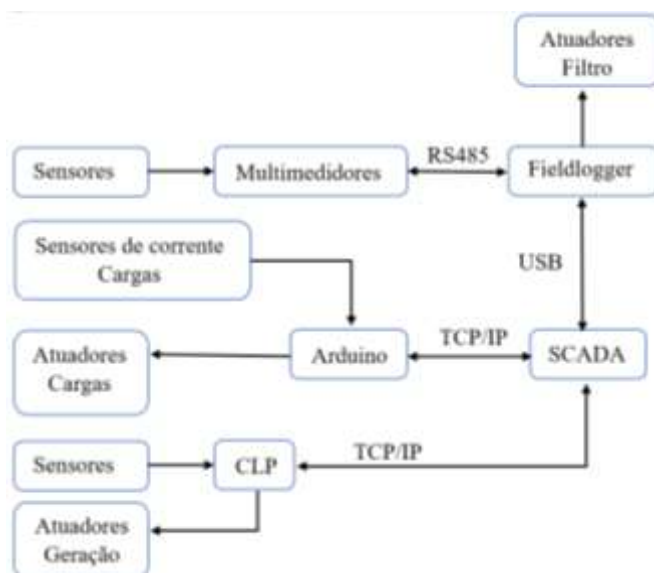


Fig. 11: Topologia do sistema SCADA
Fonte: Do Autor (2018)

Os principais equipamentos que pertencem ao sistema de monitoramento e automação do *software* SCADA referem-se ao Controlador Lógico Programável (CLP); Multimetador PM800, Fieldlogger e o Arduino MEGA

3.8 CLP E MÓDULOS

O X20CP1382, da B&R [31], refere-se ao CLP aplicado para realização das leituras de tensão, corrente e realizar o acionamento das cargas e gerações.

Esse CLP possui uma CPU Intel® x86 400 MHz; memória RAM de 256 MB DDR3; memória flash de 2 GB on board; e interfaces USB, Ethernet, Powerlink, CAN e RS-232.

Além disso, possui 18 entradas digitais 24 Vcc; 8 saídas digitais 24 Vcc; 4 entradas ou saídas digitais 24 Vcc; e duas entradas analógicas ± 10 V, 20 mA ou 4-20 mA.

O X20CP1382 permite o acoplamento de módulos ao controlador, sendo que os dois utilizados são:

- X20AO4632: módulo com 4 saídas analógicas, ± 10 V ou 20 mA, 16 bits.
- X20CM0985-1: módulo de medição trifásica 120/480 Vac, com medição simultânea de duas redes CA e unidade de sincronização.



3.9 MULTIMEDIDOR PM800

O multimedidor PM800 monitora as 3 fases e o neutro ao mesmo tempo. Possui comunicação RS485, entradas e saídas digitais, medição da Distorção Harmônica Total (THD) e alarme.

Conectados às entradas de corrente desses multimedidores, existem transformadores de corrente (TC's), um por fase, tanto nas fases da rede quando nas da carga que realizam a leitura da corrente durante o tempo. Esse dispositivo reproduz em seu circuito secundário, uma amostra da corrente que circula no enrolamento primário.

3.10 FIELDLOGGER

Este é um equipamento de aquisição e registro de dados analógicos e digitais de alta resolução e velocidade. Possui alto desempenho, alta conectividade e facilidade de configuração e operação e é aplicado em diversos padrões de redes industriais.

Possui entradas analógicas, entradas e saídas digitais, Interface RS485, serviço ethernet, USB. Seu conversor A/D de 24 bits pode chegar a 1000 amostras por segundo

No sistema, o FieldLogger está conectado via RS485 com o multimedidor PM800 e também conectado ao computador via cabo USB.

3.11 ARDUINO MEGA

O Arduino Mega 2560 é uma placa microcontroladora baseada no ATmega2560. Possui 54 pinos que podem ser configurados como entradas ou saídas digitais; 16 entradas analógicas; 4 portas seriais de hardware, um oscilador de cristal de 16 MHz; uma conexão USB; conector de alimentação; um conector ICSP; e um botão de reset.

Em conjunto com o Arduino é utilizada uma interface responsável por fazer a comunicação, via TCP/IP com o computador, onde é executado o supervisório.

O Arduino é o elemento que realiza as leituras de corrente de cada uma das cargas, e informa ao SCADA e também recebe comandos do supervisor para chavear as cargas.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste item, serão apresentados os resultados obtidos com a implementação do supervisor desenvolvido com o *software* Action.NET.

4.1 TELAS DO SUPERVISÓRIO

Conforme as características que um supervisor SCADA deve possuir, as telas de navegação são a única interface entre o operador e o ambiente monitorado. As telas de monitoração foram divididas em uma tela principal, que apresenta uma visão geral sobre todo o sistema geração/cargas, uma tela para acionamento das cargas da bancada didática e telas secundárias, que serão construídas em outro momento, em um projeto denominado Interface Gráfica para Bancada de Qualidade de Energia, que apresenta detalhadamente todas as informações referentes à bancada. Essa topologia foi adotada para evitar uma única tela com muitas informações.

Na Fig. 12, está a tela principal do sistema desenvolvido no *software* ActionNet.

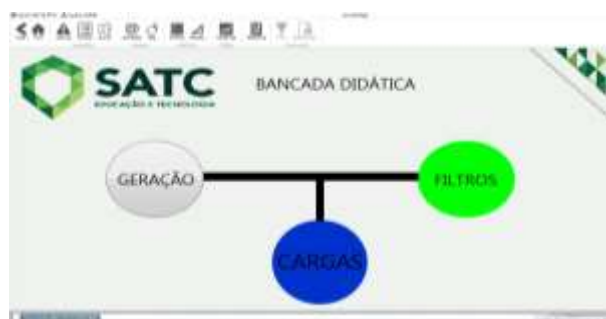


Fig. 12 – Tela Principal – ActionNet
Fonte: Do Autor (2018)

Nessa tela estão expostos os três principais grupos onde o supervisor está aplicado. Ao selecionar um desses itens, o usuário é redirecionado às páginas com as informações detalhadas do processo selecionado.

O menu dedicado ao chaveamento das cargas é exposto na Fig.13.

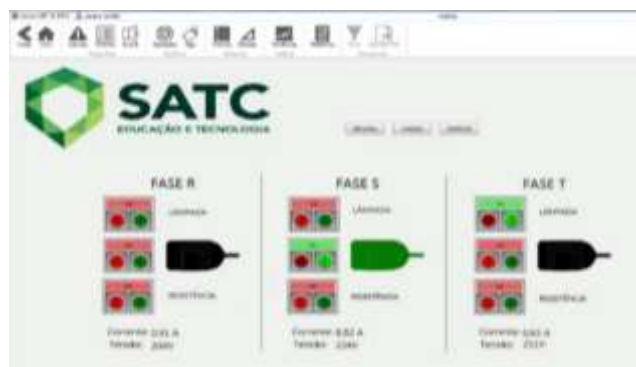


Fig. 13: Tela para chaveamento das cargas – ActionNet
Fonte: Do Autor (2018)

Nessa página, é possível realizar o acionamento individual das cargas. Na área correspondente a cada fase são exibidas as leituras de tensão e corrente.

Na Fig. 14 pode ser vista uma tela com função semelhante a essa, que é executada no software ScadaBR.

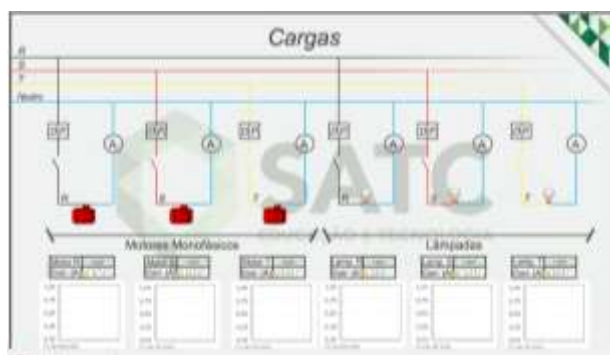


Fig. 14: Tela acionamento das cargas ScadaBR
Fonte: Do Autor (2018)

A tela para comando dos filtros é expressa na Fig. 15.

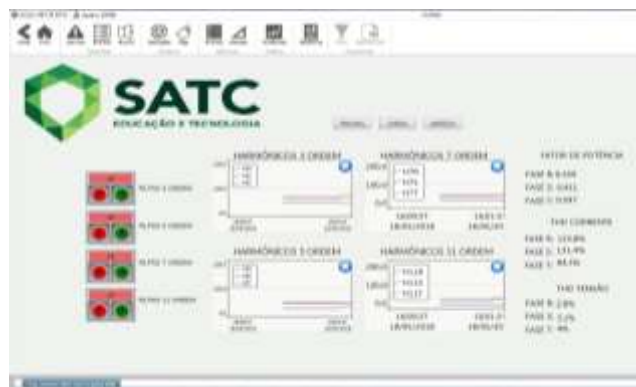


Fig. 15: Tela de comando dos filtros – ActionNet
Fonte: Do Autor (2018)

Essa aba é dedicada ao acionamento individual dos filtros. Esses estão contidos na bancada e são divididos em: 3^a, 5^a, 7^a e 11^a ordem.

Nesse mesmo item são expressos os seguintes valores de cada fase: TDH de tensão e corrente, fator de potência e representadas graficamente as distorções harmônicas nas mesmas ordens dos filtros.

Uma tela com funções análogas a essas também é executada no ScadaBR, conforme pode ser visto na Fig.16.

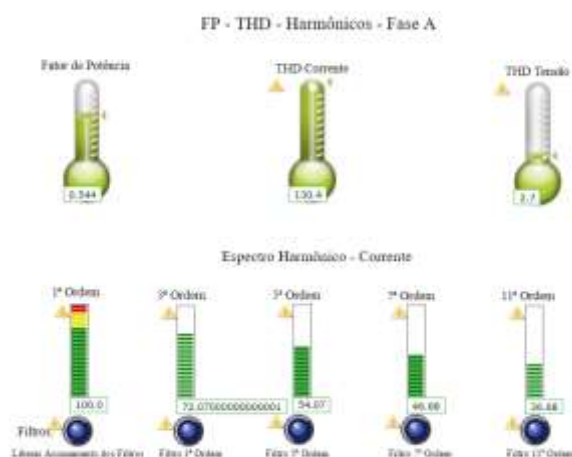


Fig. 16: Tela dos harmônicos e filtros no ScadaBR
Fonte: Do Autor (2018)

O campo destinado aos gráficos é composto por quatro telas, nessa é possível verificar as tendências de tensão de linha e de fase, corrente, potência ativa, reativa e aparente. Essa aba está exposta na Fig. 17.

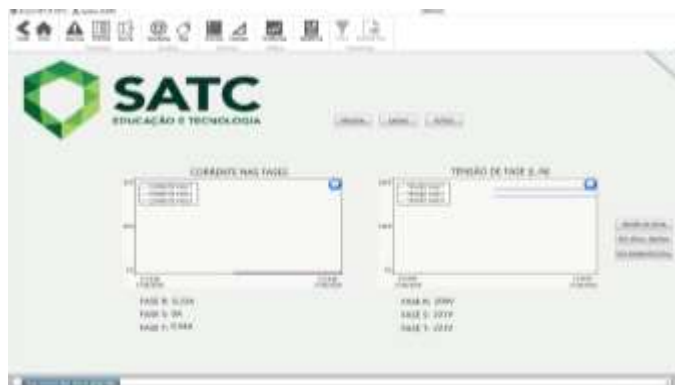


Fig. 17 – Tela dos gráficos – ActionNet
Fonte: Do Autor (2018)

As abas para controle das gerações ainda estão em desenvolvimento.

4.2 COMPARATIVO ENTRE AS LEITURAS DOS SOFTWARES E O MULTIMEDIDOR

Com o propósito de validar o software, é realizado um comparativo entre os valores lidos pelo supervisor e pelo multimetido. As cargas utilizadas nesse teste estão descritas na Tab. 7.

Tab. 7: Cargas utilizadas no teste

Fase	Cargas	Fator de Potência	Potência ativa	Potência reativa
R	3 Lâmpadas	$\geq 0,5$	45W	78Var
	1 Lâmpada	$\geq 0,92$	46W	19Var
S	3 Lâmpadas	$\geq 0,5$	45W	78Var
T	3 Lâmpadas	$\geq 0,5$	45W	78Var

Fonte: Do Autor (2018)

Os valores de potência ativa e o fator de potência foram fornecidos pelos fabricantes. Já a potência reativa foi calculada a partir da (4).

$$Q = P \times \tan(\cos^{-1}(FP)) \quad (4)$$

Onde:

Q: Potência reativa;

P: Potência ativa; e

FP: Fator de potência.

A potência ativa total teórica da fase *R* é 91 *W* e a reativa 97 *Var*.

Na Fig. 18 estão representados os valores de potência aparente por fase apresentados pelo multimetido.



Fig. 18: Leitura de potência aparente multimetido
Fonte: Do Autor (2018)

Na Fig. 19 são expostas as leituras de potência ativa.



Fig. 19: Leitura de potência ativa
Fonte: Do Autor (2018)

Já a Fig. 20 apresenta os valores de potência ativa indicados pelo supervisor Action.NET.

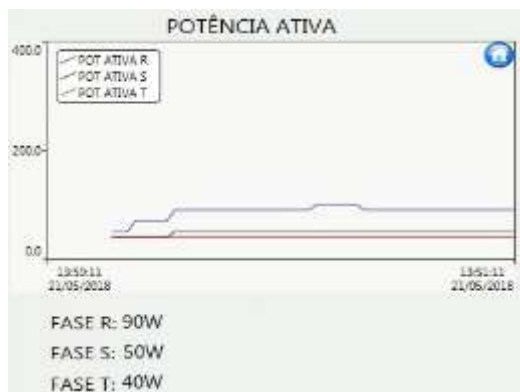


Fig. 20: Valores de potência ativa Action.Net
Fonte: Do Autor (2018)

A Fig. 21 apresenta os valores de potência aparente indicados pelo supervisor Action.NET.



Fig. 21: Valores de potência reativa Action.Net
Fonte: Do Autor (2018)

Na Fig. 22 são exibidas as medidas das potências apresentadas pelo ScadaBR.

Watch list	
(sem nome)	
Bancada - Cargas - Potência Ativa A	90 W
Bancada - Cargas - Potência Ativa B	50 W
Bancada - Cargas - Potência Ativa C	40 W
Bancada - Cargas - Potên -150 Var a A	-150 W
Bancada - Cargas - Potên - 70 Var a B	-70 W
Bancada - Cargas - Potên -60 Var a C	-60 W

Fig. 22 – Valores de potência ativa e reativa ScadaBR
Fonte: Do Autor (2018)

Esse mesmo procedimento comparativo foi realizado com as demais variáveis monitoradas pelos supervisórios. Os valores das leituras de corrente e potências dos *softwares* são diferentes do medidor. Visto que no multimedidor foi aplicado um fator de multiplicação a esses valores, para com isso poder visualizá-los na tela do medidor.

Exceto por essa diferença de escala, todos os valores apresentados por ambos os programas são fidedignos aos do multimedidor e aos valores teóricos, salvo o valor de potência reativa da fase *R* que apresentou a maior diferença em relação ao calculado. Essa variação ocorreu, pois, o fator de potência, maior do que 0,92, fornecido pelo fabricante da lâmpada de 46 W não condiz com a realidade.

Outro teste também foi realizado para validar a eficácia dos filtros pertencentes à bancada. As cargas utilizadas nesse experimento estão expostas na Tab. 8.

Tab. 8: Cargas utilizadas no teste dos filtros

Fase	Cargas	Fator de Potência	Potência ativa	Potência reativa
R	3 Lâmpadas	$\geq 0,5$	45W	78Var
S	3 Lâmpadas	$\geq 0,5$	45W	78Var
T	3 Lâmpadas	$\geq 0,5$	45W	78Var

Fonte: Do Autor (2018)

Os valores de THD de corrente antes da aplicação dos filtros estão descritos na Fig. 23.

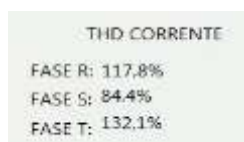


Fig. 23: THD de corrente antes da aplicação do filtro
Fonte: Do Autor (2018)

Os níveis dos harmônicos nas fases antes da atuação dos filtros estão expostos na Fig. 24.



Fig. 24: Níveis dos harmônicos
Fonte: Do Autor (2018)

Feito o acionamento do filtro de 3ª ordem, foram verificados novamente os valores de THD de corrente. Esses novos valores são demonstrados na Fig. 25.

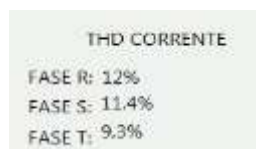


Fig. 25 - THD de corrente após acionamento do filtro
Fonte: Do Autor (2018)

Também foram verificados os níveis dos harmônicos nas fases após a atuação do filtro. Esses níveis podem ser vistos na Fig. 26.

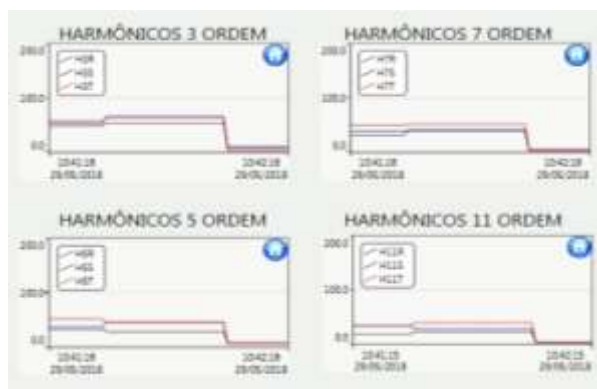


Fig. 26 - Níveis dos harmônicos após atuação do filtro
Fonte: Do Autor (2018)

Apenas com o acionamento do filtro de 3ª ordem foi possível reduzir significativamente os valores de THD de corrente nas fases e os níveis dos

harmônicos. Esse fato ocorre visto que os harmônicos de 3ª ordem são os mais influentes no sistema testado.

4.3 COMPARATIVO ENTRE OS SOFTWARES ACTION.NET E SCADABR

No desenvolvimento deste projeto foi possível comparar as funcionalidades dos *softwares*: Action.NET e o ScadaBR.

Na Fig. 27 está representada a tela de trabalho do Action.NET.



Fig. 27: Área de trabalho Action.NET
Fonte: Do Autor (2018)

Na lateral esquerda existe uma barra com todos os recursos necessários para o desenvolvimento do supervisório. No menu *Edit* é onde são feitas as configurações do sistema, dentro desse tópico existe o campo dos *Devices*, nesse ponto são configurados todos os elementos que se comunicarão com supervisório. Já no *Run* estão todos os recursos necessários para a execução do projeto. E no *Draw* estão as ferramentas para o desenvolvimento das telas.

Na Fig. 28 está exposta a barra de ferramentas do ScadaBR.



Fig. 28 – Barra de ferramentas ScadaBR
Fonte: Do Autor (2018)

A aba dos *Data Sources* é semelhante ao menu *Devices* do Action.NET. Já a tela de Representação gráfica é destinada a mesma função do menu *Draw*, porém com recursos limitados. Na Fig. 29 está a tela do *Draw*.



Fig. 29: Tela *Draw* do Action.NET
Fonte: Do Autor (2018)

Na Fig. 30 está a tela de Representação gráfica do ScadaBR.

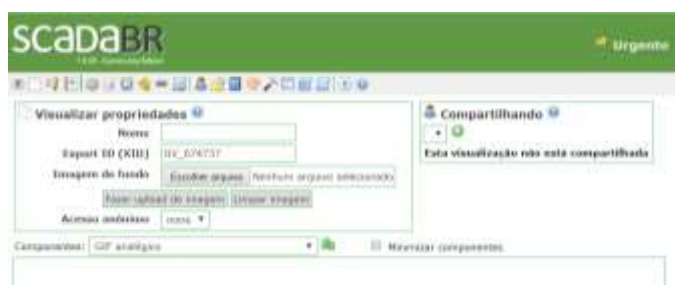


Fig. 30: Tela de Representação gráfica do ScadaBR
Fonte: Do Autor (2018)

O Action.NET oferece vários recursos para o desenvolvimento das telas gráficas do supervisor, diferentemente do ScadaBR.



Durante os testes com os sistemas de supervisão, foi observada a perda de comunicação com os elementos do sistema, no projeto executado com o *software* ScadaBR, já na execução com o Action.NET esse fato não ocorreu.

Salvo esse problema e a limitação ao desenvolvimento das telas no ScadaBR, é possível executar o supervisório com as mesmas funções em ambos os programas.

CONCLUSÕES

Com a implantação de um SCADA é possível aumentar a flexibilidade, a agilidade e a segurança do sistema no qual esse está aplicado.

Para o desenvolvimento do supervisório, é indispensável um estudo sobre as características do processo que será monitorado, devem ser elencadas as variáveis, os protocolos de comunicação e mensurados os pontos de comunicação necessários.

Esses critérios são utilizados para selecionar o programa base que melhor se adequa ao sistema. Visto o valor pago pelos *softwares*, que não possuem licença aberta, pode variar de acordo com os recursos necessários.

O supervisório concebido no desenvolvimento desse trabalho foi validado por meio de análise comparativa com medidores já instalados na bancada didática e também com a realização de testes de comutação das cargas. Esse projeto permite a visualização e o controle de todas as variáveis do sistema de forma intuitiva.

O programa de supervisão continua em desenvolvimento. Com a integração das fontes de geração e do projeto do carro elétrico, desenvolvido pela SATC. Novas funcionalidades serão acrescidas ao projeto, dentre elas se destacam: o controle do despacho das gerações associadas, o monitoramento das variáveis de geração e da rede elétrica da concessionária, e também o controle sobre o conjunto do carro elétrico, que ora opera como carga e ora com fonte de alimentação.

REFERÊNCIAS

- [1] CARVALHO, Joaquim Francisco de. **Energia e sociedade. Estudos Avançados**. São Paulo, v. 28, n. 82, p. 25-39, dec. 2014.
- [2] IEA. **Energy Technology Perspectives 2016**. Disponível em: <
<https://www.iea.org/publications>



- /freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016_ExecutiveSummary_EnglishVersion.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- [3] EPE. **Balanço Energético nacional 2017: ano Base 2016**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2018.
- [4] EPE. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas) - 2004-2017**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- [5] CELESC. **Dados de consumo**. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/celesc-distribuicao/dados-de-consumo>>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- [6] MARTINS, K. F. **Estudo de características de diferentes softwares de supervisão em automação**. 2011. 60f. Monografia (Especialização em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.ct.utfpr.edu.br/deptos/ceaut/monografias/Estudo%20sobre%20Caracteristicas%20de%20Diferentes%20Softwares%20de%20Supervisao%20em%20Automacao.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- [7] REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**. Barueri: Manole, 2011.
- [8] Rapanello, R. M. **Laboratório remoto de qualidade de energia elétrica**. 2008. 84f. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2008. Disponível em: <http://feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/231-dissertacao_rogerio_rapanello.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- [9] BOSSARDI, C. A. et al. **A energia elétrica e o meio ambiente na sociedade moderna**. Disponível em: <https://www.diritto.it/pdf_archive/27654.pdf>. Acesso em: 24 set. 2016.
- [10] HÉMERY, D. et al. **Uma história da energia**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1991.
- [11] TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. – EPE: Rio de Janeiro, 2016.
- [12] FERREIRA, M. J. G. **Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil**. 1993. 168f. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-05122011-141720/pt-br.php>>. Acesso em: 1 out. 2016.
- [13] TEIXEIRA, A. A. et al. **Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial**. E-xacta, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 117-136. 2011.
- [14] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CRESEB, 1999.
- [15] PERREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 1. Ed. São José dos Campos – SP: INPE, 2006. v.1. 60p.
- [16] TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <



- <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/pt-br.php>>. Acesso em: 1 out. 2016.
- [17] IST; DGS; UE. **Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. 2004. Disponível em: <<http://greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2016.
- [18] FADIGAS, Eliane A. Faria Amaral. **Energia Eólica**. Barueri: Manole, 2011.
- [19] ANEEL. **Resolução normativa N° 687/2015**. Brasília: Agencia Nacional de Energia Elétrica, 2015.
- [20] HENDERSON, M. **Microgrid controllers**. Apex, Piscataway, v. 15, n. 4, p. 4-6. jun./jul. 2017.
- [21] BRASÍLIA. **Resolução normativa ANEEL. nº 414/2010 de 09 de setembro de 2010**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2018.
- [22] MORAES, Cícero C.; CASTRUCCI, Plínio L. **Engenharia de Automação Industrial: Hardware e Software, Redes de Petri, Gestão de Automação**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- [23] GOMES, R. Z. **Gestão da automação e a utilização da rede interbus em um estudo de caso**. 2003. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara d'Oeste, 2003. Disponível em: <<https://www.unimep.br/phpg/bibdig/aluno/visualiza.php?cod=714>>. Acesso em: 19 mar. 2018.
- [24] ORTEGA, F. L. **Desenvolvimento de um sistema de supervisão para pequenas centrais hidrelétricas**. 2012. 38f. Monografia (Especialização em automação industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1848/1/CT_CEAUT_III_2012_01.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2018.
- [25] SALVADOR, M. et all. **O que são sistemas supervisórios?**. Rio Grande do Sul, 2005
- [26] MORAES, Cícero C.; CASTRUCCI, Plínio L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2007.
- [27] GOMES, R. R. J. **Automação Industrial com recurso a ferramentas “Open Source”**. 2014. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2014. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/76265>>. Acesso em: 5 mar. 2018.
- [28] SPIN. **Action.NET Guia do Usuário**. Brasília, 2014.
- [29] SOUTHWEST WINDPOWER. **Manual air Breeze**. Disponível em: <www.tande.com.tw/rn-wg-manual/airbreeze-manual.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.
- [30] IMOTECH. **Motores Corrente Continua**. Disponível em: <<http://www.imotech.com.br/produtos/Motores-corrente-continua/Motor-300-W/12>>. Acesso em: 18 mar. 2018.
- [31] B&R. **Automation Studio®**. Disponível: <<https://www.br-automation.com/pt-br/homepage/>>. Acesso em: 19 mar. 2018.