

# Sistema de Monitoramento do Consumo Energético no Contexto de *Smart Campus*

Bruno O. Zarpellon\* Luis de Oro Arenas\* Eduardo P. Godoy\*  
Fernando P. Marafão\* Helmo K. M. Paredes\*

\* *Universidade Estadual Paulista - UNESP, Grupo de Automação e Sistemas Integráveis (GASI) - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS), SP, (e-mail: bruno.o.zarpellon@unesp.br, luis.arenas@unesp.br, eduardo.godoy@unesp.br, fernando.marafao@unesp.br, helmo.paredes@unesp.br).*

---

**Abstract:** The application of energy consumption monitoring tools is very important for understanding behavioral patterns, problems and inefficiencies of the monitored system. Considering the carbon emissions, water and energy consumption pillar defined in the most prominent smart campus models in literature, specifically those involving aspects related to energy generation, distribution and consumption, involving information from: renewable energy use; energy generation process; performance of distribution networks (electricity, water, gas), etc., energy monitoring is a vital component within this structural pillar of a smart campus. Besides its importance, this theme is still little addressed on the literature, specially on the brazilian scenario and with use in conjunction with IoT frameworks, a relatively new concept in the area. Taking this into account, this paper details the electrical energy quality monitoring system developed for application in conjunction with the *IoT* architecture applied in the *smart campus* concept developed at the Institute of Science and Technology of Sorocaba (ICTS) - UNESP. Its construction was carried out utilizing the pre-existing energy measurement and generation structure at the campus, combined with the use of open source softwares, which allowed a low cost implementation of the monitoring. The presented system proved itself to be robust and allowed for a greater monitoring and control of the electrical energy quality of the campus.

**Resumo:** A aplicação de ferramentas de monitoramento do consumo energético é muito importante para entendimento dos padrões de comportamento, problemas e ineficiências do sistema monitorado. Considerando o eixo de emissões de carbono, consumo de energia e água, definido nos modelos de *smart campus* de maior destaque na literatura, especificamente os que envolvem aspectos relacionados à geração, distribuição e consumo de energia, envolvendo informações de: uso de energia renovável; processo de geração de energia; desempenho das redes de distribuição (eletricidade, água, gás), etc., o monitoramento de energia é um componente vital deste pilar estrutural de um *smart campus*. Apesar da sua importância, esse tema ainda é pouco abordado na literatura, principalmente no cenário brasileiro e com uso conjuntamente a estruturas de *IoT*, um conceito relativamente novo na área. Levando-se isso em conta, este artigo detalha o sistema de monitoramento da qualidade de energia elétrica desenvolvido para aplicação em conjunto com a arquitetura *IoT* aplicada no conceito de *smart campus* desenvolvido no Instituto de Ciências e Tecnologia de Sorocaba (ICTS) - UNESP. Sua construção foi realizada utilizando uma estrutura pré-existente de medição e produção de energia do campus, aliada ao uso de *softwares open source* que permitiram uma implementação do monitoramento com baixo custo. O sistema apresentado se provou robusto, de fácil uso e entendimento, permitindo um maior monitoramento e controle da qualidade de energia elétrica (QEE) do campus.

*Keywords:* Energy consumption monitoring; Electrical Energy Quality; Smart Campus; IoT.

*Palavras-chaves:* Monitoramento de consumo energético; QEE; *Smart Campus*; *IoT*.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios atuais no desenvolvimento e gerenciamento das cidades é garantir que a resolução de seus problemas seja realizada levando-se em conta as necessidades de cada um de seus habitantes, para que estes tenham a melhor experiência possível como residentes e disponibilidade dos serviços essenciais. Assim sendo, o aumento do número de habitantes no ambiente urbano aumenta o número de desafios enfrentados pelos governos locais (Carli et al., 2014). Uma boa solução para os desafios de crescimento das cidades é o desenvolvimento de modelos urbanos, dentre os quais o mais conhecido é o de *smart city* (Giffinger et al., 2007). Este modelo é caracterizado por uma coleta automática dos dados ambientais e seu processamento para alcançar uma gestão eficiente das áreas urbanas, bem como de seus recursos e ativos (Schaffers et al., 2011), se baseando principalmente no uso de tecnologias de internet das coisas (*IoT*). De acordo com (Giffinger et al., 2007), o modelo de *smart city* é dividido na análise de seis diferentes eixos, ou aspectos da vida urbana: governança, pessoas, economia, meio ambiente, vida e mobilidade.

Neste contexto, a aplicação do conceito em escalas menores, como regiões da cidade é possível e bastante interessante, pois cada uma destas “células” representa um pequeno sistema, com suas complexidades e relações próprias (Pagliaro et al., 2016). Apesar das diferenças consideráveis de tamanho e modelo de estruturas, os câmpus universitários podem ser tomados como exemplos deste tipo de célula urbana (Torres-Sospedra et al., 2015), possuindo diversos aspectos similares às cidades, além dos problemas e desafios, como por exemplo impacto ambiental, gerenciamento energético, mobilidade interna e externa, problemas gerenciais e de organização, entre outros. As razões expostas explicam por que o modelo de *smart city* é adequado para aplicação em um campus universitário, dando origem ao termo *smart campus*. Os autores em (Dong et al., 2020), definem *smart campus* como: “um ambiente educacional que é permeado com tecnologias de capacitação para serviços inteligentes visando a melhoria do desempenho educacional, enquanto atendem aos interesses das partes interessadas, com amplas interações com outros domínios interdisciplinares”. Uma das diferenças da aplicação do conceito *smart* em câmpus universitários e cidades é vista na divisão dos pilares de ação. De acordo com o modelo de *smart campus* definido em (Fortes et al., 2019) (UMA Smart-Campus), os seis pilares/categorias de aplicação que caracterizam um *smart campus* são: (1) Emissões, Energia e Água, (2) Natureza e Meio ambiente, (3) Saúde e Bem-estar, (4) Mobilidade, (5) Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e (6) Pesquisa, Ensino e Inovação.

Algumas das vantagens que podem ser obtidas ao se implementar um *smart campus* em uma universidade são, de acordo com Alghamdi and Shetty (2016), por exemplo: aprimorar o ambiente de aprendizagem, ensino e pesquisa; proporcionar facilidade e clareza na administração e gestão do campus; reduzir gastos de capital e custos operacionais;

gerar novos fluxos de renda; proporcionar um ambiente interativo e criativo para estudantes e professores, promover gerenciamento de energia inteligente; manter a gestão eficiente do estacionamento e do controle de acesso; entre outras. Com base nestas vantagens expostas, o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS), campus da Unesp, se propôs recentemente a realizar uma transição para se tornar um *smart campus*, buscando implementar modificações no campus que permitam essa transformação de um campus tradicional para um *smart campus*, de forma a trazer diversas melhorias do ponto de vista técnico do funcionamento do campus e também melhorias de qualidade de vida e ensino para todos os seus integrantes (alunos, professores e funcionários).

O primeiro passo escolhido na adoção de medidas que transformem o ICTS em um *smart campus* foi a adoção de medidas relacionadas ao seu pilar estrutural de número (1): Emissões, Energia e Água. Este pilar, segundo Pagliaro et al. (2016) engloba os aspectos relacionados à produção, distribuição e consumo de energia, por meio de: uso de energia renovável; processo de produção de energia; desempenho das redes de distribuição de eletricidade, água e gás. Portanto, base para adoção destas medidas é constituída pela implementação prévia de uma arquitetura *IoT* padronizada no campus, que permite a inserção de diversos sistemas de monitoramento e coleta de seu consumo energético. Estes sistemas de monitoramento, quando adotados, constituem a base para a implementação de algoritmos de inteligência artificial e aprendizado de máquina, com o intuito de realizar análise e previsões de consumo energético do campus, avaliação da geração energética e aplicações do conceito de um smart campus do ponto de vista de eficiência energética. Melhorias no gerenciamento energético do campus também constituem indiretamente medidas relacionadas ao pilar (2) de um *smart campus*, Natureza e Meio Ambiente.

De acordo com a referência (Hark Systems Ltd. Company, 2022), a implementação de ferramentas de monitoramento de consumo energético permite uma visão vital, que auxiliará no controle e conservação da energia no futuro, em qualquer contexto (residencial, industrial ou escolar). Para que o gerenciamento de energia seja realizado, é necessária uma análise das diferentes formas e usos de energia, baseada em uma constante medição que garanta o monitoramento das fontes de consumo, essas ações permitirão que o sistema seja analisado e soluções para seus problemas, bem como definição de suas características e possíveis melhorias sejam encontradas e implementadas (Bandarra et al., 2016).

Com esta contextualização em mente, este artigo se propõe a discutir e apresentar o sistema de monitoramento de energia elétrica implementado no ICTS, de modo a demonstrar seu funcionamento e suas principais características. Além disso, também serão integrados outros sistemas de monitoramento isolados, em funcionamento no campus (estação meteorológica e painel fotovoltaico), e como seus dados podem ser utilizados de maneira conjunta com os dados de consumo de energia elétrica coletada. Por meio da avaliação deste sistema, este artigo também busca, principalmente, destacar como o monitoramento de consumo de energia pode ser feito dentro do contexto

\* O presente trabalho foi realizado com apoio da FAPESP, processos 2022/15423-3, do CNPq, processo 309297/2021-4 e da CAPES, código de financiamento 001.

de um *smart campus*, destacando suas contribuições para o ICTS e como sua implementação ajuda a constituir a construção e adoção de um dos pilares estruturais de um *smart campus*, permitindo ainda mais a evolução do ICTS nesta direção.

## 2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A presença de elementos de medição do consumo de energia já é um conceito a muito estabelecido. Ambientes industriais, acadêmicos e comerciais possuem medidores próprios de energia, modernos ou não, para registrar o consumo local de energia. Apesar disso, a maioria dos medidores são muito limitados em relação aos dados que fornecem aos consumidores, tornando o processo de medição e cobrança um tanto vago. Isso faz com que, cada vez mais, busquem-se maneiras de aprimorar ou modernizar os sistemas de coleta de dados dos medidores, de modo a torná-los mais transparentes para os usuários. Alguns modelos de medidores, como os utilizados no ICTS, possuem capacidade de medir um número vasto de parâmetros e sua coleta é feita mediante protocolos de comunicação e uso de *softwares* proprietários para visualização destas medições, mas ainda assim apresentam suas limitações, como dificuldades de integração de dados com outras aplicações do campus e funções de supervisor limitadas. Outro tema recente e, portanto, pouco explorado na literatura é a utilização destes sistemas de monitoramento com uma estrutura de *IoT*.

Considerando esses pontos apresentados, nas próximas seções este artigo busca demonstrar os desafios desta modernização do monitoramento do consumo de energia dentro do contexto de um campus universitário em transição para se tornar um *smart campus*. Além disso, visa demonstrar como isso pode ser possível mediante o uso de medidores industriais convencionais com base em uma estrutura de *IoT* que se acopla facilmente a sistemas de gerenciamento no contexto de *smart campus*, tornando possível a obtenção de uma maior riqueza de detalhes dos parâmetros lidos, melhor visualização dos dados por meio de um supervisor do próprio campus e utilização de ferramentas para análise da qualidade da energia elétrica (QEE) fornecida, além da integração em um sistema único de monitoramento dos dados de consumo energético com outros sistemas monitorados, como por exemplo, a estação meteorológica e o sistema de geração fotovoltaica, ambos instalados no ICTS.

## 3. METODOLOGIA

A metodologia adotada baseou-se na implementação do sistema de monitoramento por meio da arquitetura *IoT* previamente implementada no campus. A seguir serão apresentados uma breve linha do tempo e os componentes desta arquitetura, de modo a identificar como o monitoramento foi inserido na arquitetura, posteriormente sendo identificados os principais dados monitorados pelo sistema.

### 3.1 Arquitetura *IoT* Existente no ICTS

A arquitetura *IoT* existente no campus foi implantada previamente com o intuito de constituir uma estrutura

genérica, que permitisse o acoplamento de diversos sistemas de gerenciamentos necessários a um *smart campus* de modo simples, prático e genérico. A arquitetura, apresentada na Figura 1, é composta por cinco diferentes estágios, sendo estes: dispositivo, rede, integração, armazenamento de dados e por fim, a interação com o usuário. Esta arquitetura foi projetada para construção por meio de *softwares open source*, de modo a ser possível de ser reproduzida em outros campus com baixo custo e genericamente, de modo que, seu núcleo de funcionamento (rede + integração + armazenamento) é o mesmo para quaisquer aplicações que possam vir a ser inseridas no sistema, de modo que, para sua incorporação é necessário apenas que as partes do dispositivo e interação sejam desenvolvidas, respeitando-se o padrão de envio de dados adotado. O primeiro sistema deste tipo acoplado à arquitetura supracitada foi o de monitoramento de consumo de água do campus, seguido pela instalação de uma estação meteorológica para estudos ambientais e posteriormente a instalação de painéis de geração fotovoltaica. Todos estes sistemas estavam inseridos na arquitetura *IoT* de maneira individualizada, ou seja, seus dados eram coletados de maneira centralizada mas não tinham nenhuma interação entre eles, ou seja, estavam individualizados.



Figura 1. Sobrevisão do sistema de monitoramento desenvolvido.

A seguir serão explicados cada um dos componentes da arquitetura apresentada (Figura 1):

**Dispositivos:** Representam a medição dos processos físicos monitorados, tais como a geração do sistema fotovoltaica, os parâmetros da estação meteorológica, e dados atrelados ao consumo de energia elétrica e QEE. Os dispositivos que medem estes processos não possuem características técnicas que os permitam enviar os dados para um sistema externo de coleta de dados (neste caso a arquitetura *IoT*). Assim, para que seus dados fossem coletados de maneira independente e com a possibilidade de se interconectarem com o sistema, foram instalados dispositivos de *IoT*, como o ESP32 e o *Raspberry Pi*, em comunicação direta com os sistemas de medição, de modo a requisitar os dados lidos pelos sistemas e enviá-los para a integração;

**Rede:** as redes de comunicação consistem em como os dados coletados dos processos físicos são transmitidos entre os dispositivos e a integração. No sistema de controle e medição adotado no ICTS, foi definida como a rede de comunicação o *Wi-fi*, por meio do uso dos protocolos *MQTT* e *LoRaWan*;

**Integração:** a integração é a parte do sistema responsável por receber os dados lidos pelos dispositivos e processá-los, de modo a adaptar cada um dos dados recebidos para o padrão pré-determinado para que estes possam ser escritos no banco de dados unificado definido, e em seguida escrever cada um dos dados no banco de dados interno de maneira individualizada;

**Armazenamento de dados:** é a parte do processo que consiste em arquivar os dados lidos para registro, construção de um histórico e posterior uso. O banco de dados adotado foi o *MySQL*, pois sua organização

em tabelas se prova bastante adequada para a aplicação desejada, além de flexível para a inserção de dados temporais de maneira não cronológica, mas mantendo sua característica sequencial por meio do timestamp (data e horário de leitura);

Interação: Consiste na visualização e monitoramento dos dados coletados por meio de uma interface gráfica, construída na plataforma Grafana. Sua utilização permite acesso direto aos bancos de dados utilizados, exibindo seu conteúdo de maneira clara e com atualização dos dados exibidos dinamicamente. Os dados podem ser apresentados como os valores em si, gráficos do tipo gauge, gráficos de linha ou colunas que demonstram a evolução dos valores ao longo do tempo, entre outras opções.

### 3.2 Dados Monitorados

O sistema de monitoramento implementado é constituído por onze medidores de energia instalados em diferentes pontos do campus. Os principais parâmetros monitorados por meio destes medidores são: tensões, correntes, potências (aparentes, ativas e reativas), ângulo (fator de deslocamento), fator de potência e distorções harmônicas de tensão e corrente de cada uma das fases do sistema elétrico do campus. Juntamente com estes parâmetros, estão sendo monitorados outros mais, num total de 58 parâmetros. Estes outros parâmetros não serão aqui expostos pois são de menor relevância para o monitoramento atual. Com os dados coletados se prevê a aplicação de ferramentas de *machine learning*, *big data* e inteligência artificial, para analisar o consumo energético do campus, detectar padrões (desagregação de cargas) e possíveis anomalias no consumo em áreas específicas e também do campus como um todo. Nesse sentido, espera-se obter um melhor gerenciamento do consumo e produção de energia, definição do perfil de consumo para adequação às tarifas de energia da fornecedora e, até mesmo, indicar consumo de aparelhos específicos por meio de medições não intrusiva de carga. Estes dados provenientes dos medidores são recentes (dados de 6 meses), não constituindo ainda um banco de dados tão vasto quanto o ideal para certas aplicações.

Para algumas aplicações, a utilização destes dados de maneira conjunta com os dados da estação meteorológica e do painel fotovoltaico previamente inseridos no sistema pode enriquecer as possíveis avaliações do monitoramento de consumo. Para isso é importante que os dados sejam utilizados de maneira integrada, de modo a contribuírem entre si para uma melhor avaliação do perfil energético do campus.

Dentre os parâmetros monitorados da estação meteorológica e que podem ser utilizados em conjunto com o monitoramento de consumo de energia, podem ser destacados: *timestamp* (data e horário) da coleta dos parâmetros, temperatura, sensores de radiação, quantidade de chuva, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e pressão atmosférica. A coleta e monitoramento destes parâmetros permite ter uma visão mais aprofundada do estado do clima no campus e na cidade de Sorocaba, assim como também, permite que, com a aplicação das ferramentas de análise de dados e previsão, seja estimado uma previsão do comportamento do clima,

de modo a identificar quando irão ocorrer as melhores condições para a geração solar fotovoltaica, e planejamento de consumo do campus, com foco no objetivo de tornar o ICTS autônomo em relação a geração de energia para consumo.

Já considerando-se os dados coletados pelo sistema de geração fotovoltaico, os principais parâmetros que estão sob monitoramento são: a tensão e a corrente do conjunto de painéis do sistema fotovoltaico, a potência de entrada, a tensão, a corrente injetada e a frequência da rede à qual o painel está conectado, fator de potência, a potência ativa e reativa vista no ponto de conexão do inversor, eficiência, a energia diária gerada. Estes parâmetros permitem uma análise e maior compreensão do perfil de geração do sistema fotovoltaico e dos painéis no dia, indicando o valor da potência gerada e, principalmente, a qualidade da energia gerada através de seu fator de potência, distorção de tensão e corrente, dentre outros parâmetros.

É importante notar que, para os três subsistemas de medição adotados no sistema de monitoramento e gerenciamento energético do ICTS, existem inúmeros parâmetros e variáveis que os sistemas de medição (dispositivos) aquisitam, mas que não são coletados pelos respectivos sistemas de monitoramento. Isso demonstra um lado extremamente importante do monitoramento: a medição de um determinado parâmetro não necessariamente o torna relevante para uso e monitoramento. Por isso é muito importante, quando da construção de um sistema de monitoramento, uma fase para a definição da relevância e possível uso dos parâmetros a serem lidos, para só então coletar os dados escolhidos e submetê-los ao sistema de monitoramento. O monitoramento de dados que não terão uso futuro podem levar à sobrecarga dos sistemas de medição, das linhas de comunicação e do banco de dados de maneira desnecessária. Com os sistemas e a arquitetura *IoT* aqui adotados, porém, caso algum dos dados de menor relevância venha se tornar importante no futuro, os algoritmos de requisição dos dados poderão ser facilmente adaptados para a adição destes novos parâmetros sem prejudicar o funcionamento do sistema.

## 4. RESULTADOS

A implementação do sistema descrito anteriormente em conjunto aos outros sistemas preexistentes permitiu a obtenção do sistema integrado para aquisição e monitoramento dos dados de consumo e geração energética do campus do ICTS. As Figuras 2, 3 e 4 ilustram o sistema de monitoramento construído sob a plataforma Grafana para, respectivamente, a estação meteorológica, o painel solar e um dos medidores de energia. A tela completa do monitoramento do medidor número 1 ao longo de uma semana e o acesso à informação dos outros 10 medidores pode ser vista na Figura A.1 no anexo A. A plataforma Grafana permite, como comentado anteriormente, a visualização dos dados por meio de gráficos tipo gauge, linhas ou colunas, demonstrando o histórico dos dados ao longo do tempo e possui atualização automática da visualização dos dados. Este monitoramento dos sistemas supracitados permite uma visão sólida de seus comportamentos, e que auxilia no entendimento de possíveis problemas ou anomalias relacionados a seus funcionamentos e possíveis ineficiências

dos processos. O sistema já possui alguns indicadores de QEE, como por exemplo os valores de distorção harmônica total (DHT) de tensão e corrente para as três fases em cada um dos medidores, além da indicação no gráfico de tensão eficaz dos limites de tensão definidos pela norma do Prodist (ANEEL, 2018) aliado a avisos quando estes limites forem desrespeitados, fornecendo uma indicação caso a tensão eficaz medida esteja fora dos parâmetros de rede aceitáveis. Além disso, o sistema também estabelece uma base sólida para aplicação futura de ferramentas de inteligência artificial e que poderão contribuir ainda mais para aprofundar a análise da qualidade de energia no campus como um todo, melhorando o desempenho de geração e consumo de energia. Um exemplo de uma possível aplicação destas ferramentas pode ser visto no trabalho realizado em (Bianchi et al., 2015), onde os autores se utilizam de uma série temporal de consumo energético para previsão de consumo. É possível notar na figura A.1 que mesmo sem a aplicação dessas técnicas avançadas para avaliação do consumo registrado, os gráficos apresentam padrões claramente definidos, demonstrando as tendências de consumo e uma repetição cíclica do uso dos equipamentos monitorados por este medidor, o que permite também uma caracterização das cargas monitoradas por cada um dos medidores do sistema. Esta sazonalidade do uso de energia no campus também fornece uma base sólida para a aplicação da técnica de previsão da referência supracitada.

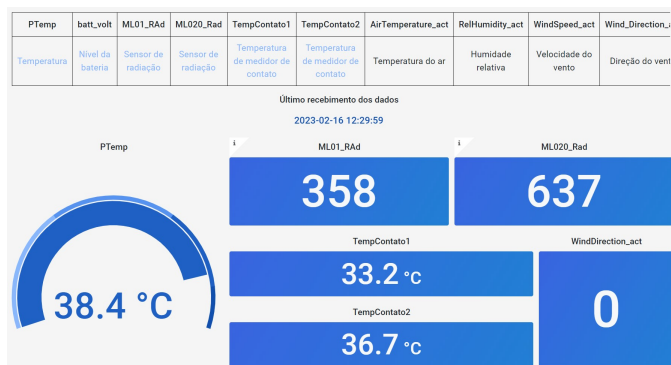


Figura 2. Tela do sistema de monitoramento da estação meteorológica.

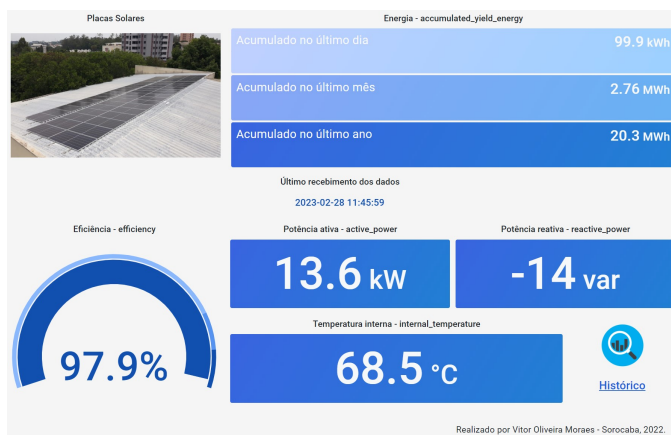


Figura 3. Tela do sistema de monitoramento do painel PV.

Violações esporádicas dos valores aceitáveis de tensão entregue ao barramento do campus por si só não caracterizam má qualidade da energia entregue, então uma

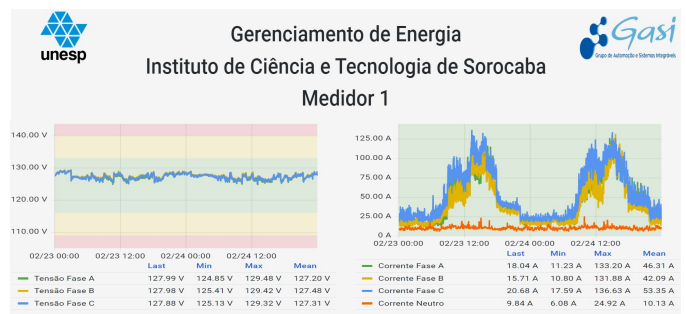


Figura 4. Tela do sistema de monitoramento dos medidores de energia ao longo de 2 dias.

aplicação do sistema para avaliação da QEE do campus é a utilização de seus dados históricos de tensão eficaz para cálculo dos índices de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e o para tensão crítica (DRC), definidos no Prodist (ANEEL, 2018). Estes índices são calculados com base em medições coletadas em intervalos de 10 minutos ao longo de uma semana (totalizando 1008 medições) e, de acordo com o número de medições nas quais os valores de tensão estavam dentro da faixa precária ou crítica, calculam a duração relativa dos períodos de transgressão dos valores aceitáveis de tensão, em porcentagem. Caso estes valores ultrapassem 3% para o DRP e 0,5% para o DRC, a distribuidora deve compensar o consumidor proporcionalmente.

Outra aplicação interessante decorrente dos dados coletados pelos medidores de energia é sua utilização para a realização dos cálculos propostos no padrão IEEE 1459-2010 (IEEE Power & Energy Society, 2010), a partir dos parâmetros predefinidos no firmware de cada medidor. Esta norma surgiu com o intuito de correlacionar termos de potência devidos à presença de componentes harmônicos nas tensões e correntes do sistema trifásico, assim como, os possíveis desequilíbrios nas tensões e desbalanços no consumo das fases. Nesse sentido, com os dados base coletados pelos medidores, é possível calcular (por meio de um algoritmo externo escrito em *python*) a maioria das grandezas presentes no padrão IEEE 1459-2010, comparando com os valores medidos pelos medidores, os quais utilizam métodos clássicos para seus cálculos das parcelas de potências elétricas. Este estudo contribui para demonstrar como as medições podem diferir de acordo com o modo como são feitos os cálculos pelos medidores comerciais existentes.

É interessante notar que, atualmente, um dos maiores desafios está definido pelas diferentes frequências de amostragem dos três sistemas. Enquanto a leitura dos parâmetros meteorológicos da estação é realizada a cada 10 segundos, a leitura do sistema fotovoltaico conectado à rede é feita a cada 5 minutos (respeitando o mesmo intervalo de leitura do software proprietário) e nos medidores é realizada a cada minuto. A definição deste intervalo de leitura é muito importante de acordo com a finalidade com a qual os dados serão utilizados. Para apenas o monitoramento atual, a leitura a cada minuto dos medidores, por exemplo, é suficiente. Para identificação de parâmetros de QEE, como adequação dos valores de tensão, DHT de tensão e de corrente aos valores estabelecidos na norma do Prodist e avaliação de tendências da rede, também é um intervalo suficiente. Mas, caso a análise da QEE seja

definida por meio da identificação de eventos, como por exemplo afundamentos e elevações de tensão, este intervalo de leitura não é o suficiente para detectar sua ocorrência. Além disso, dentro dos intervalos citados, é importante a análise do sincronismo de leitura dos dados, pois no caso da identificação de eventos, é de suma relevância que estes eventos possam ser analisados por diferentes pontos de vista da rede.

## 5. CONCLUSÕES

Por meio da realização deste trabalho é possível compreender a importância do monitoramento de dados em um sistema de distribuição de energia local, além de como este monitoramento contribui para a construção de um smart campus com melhor controle e gerenciamento da produção e consumo de energia elétrica. Essa abordagem, baseada principalmente no pilar de emissões, energia e água de um *smart campus*, também contribui indiretamente para os pilares de natureza e meio ambiente e saúde e bem-estar, permitindo uma possível redução das emissões do campus. A arquitetura *IoT* utilizada como base para os sistemas de monitoramento também terá integrada a ela um sistema para monitoramento de gás e integração do uso dos dados do sistema de medição de água previamente instalado, tornando o sistema ainda mais completo do ponto de vista de ambos os pilares supracitados de um *smart campus*.

Do ponto de vista teórico, este trabalho demonstrou conceitualmente como um sistema de monitoramento pode ser elaborado em conjunto com uma estrutura de *IoT* e exibido para os usuários, além de, principalmente, sua importância no contexto de gerenciamento energético do campus e possíveis expansões das aplicações a serem realizadas com os dados monitorados ao longo do tempo. Este tipo de análise permite uma expansão dos conceitos da literatura que contribuem para o entendimento dos conceitos envolvidos em um *smart campus* e da aplicação dos conceitos para a implementação do mesmo. Atualmente a implementação destes conceitos tem-se tornado uma constante cada vez maior, com a tendência das universidades buscarem melhorias econômicas e melhorias de vida para todas as pessoas que a integram. Já com relação às questões práticas abordadas, identificam-se algumas das possíveis aplicações que podem ser realizadas com os dados monitorados, já que, apesar da importância do monitoramento, o uso posterior destes dados se prova como algo de extremo valor para um melhor entendimento de padrões, gerenciamento e otimização do consumo energético.

Apesar da utilidade do sistema de monitoramento previamente exposto, ainda existem espaços para implementação de melhorias. Por exemplo, o modo como ele está construído ainda apresenta uma limitação muito forte com relação à identificação de eventos de curta duração. Outro detalhe a se apontar é um estudo mais aprofundado das variáveis lidas de cada um dos sistemas de medição que compõem o sistema de monitoramento do ICTS, para uma definição com maior precisão de quais os parâmetros mais importantes para exibição na tela da interface do sistema e quais devem ser armazenados para futuras análises e estudos.

## REFERÊNCIAS

- Alghamdi, A. and Shetty, S. (2016). Survey toward a smart campus using the internet of things. In *2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 235–239. doi:10.1109/FiCloud.2016.41.
- ANEEL (2018). Prodist, módulo 8.
- Bandarra, P., Valdez, M.T., and Pereira, A. (2016). Solutions for monitoring and analysing for energy consumption — energy management systems. In *2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 1–5. doi:10.1109/UPEC.2016.8114051.
- Bianchi, F.M., De Santis, E., Rizzi, A., and Sadeghian, A. (2015). Short-term electric load forecasting using echo state networks and pca decomposition. *IEEE Access*, 3, 1931–1943. doi:10.1109/ACCESS.2015.2485943.
- Carli, R., Deidda, P., Dotoli, M., and Pellegrino, R. (2014). An urban control center for the energy governance of a smart city. In *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 1–7. doi:10.1109/ETFA.2014.7005155.
- Dong, Z.Y., Zhang, Y., Yip, C., Swift, S., and Beswick, K. (2020). Smart campus: definition, framework, technologies, and services. *IET Smart Cities*, 2(1), 43–54. doi:https://doi.org/10.1049/iet-smc.2019.0072.
- Fortes, S., Santoyo-Ramón, J., Palacios, D., Baena, E., Mora-García, R., Medina, M., Mora, P., and Barco, R. (2019). The campus as a smart city: University of Málaga environmental, learning, and research approaches. *Sensors*, 19(6), 1349. doi:10.3390/s19061349.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., and Meijers, E. (2007). *Smart Cities - Ranking of European medium-sized cities*. Vienna University of Technology.
- Hark Systems Ltd. Company (2022). Why is energy monitoring so important? URL <https://harksys.com/solutions/energy-monitoring/why-is-energy-monitoring-so-important/>. Online; accessed 11 January 2023.
- IEEE Power & Energy Society (2010). Ieee standard definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions. *IEEE Std 1459-2010 (Revision of IEEE Std 1459-2000)*, 1–50. doi:10.1109/IEEESTD.2010.5439063.
- Pagliaro, F., Mattoni, B., Gugliermenti, F., Bisegna, F., Azzaro, B., Tomei, F., and Catucci, S. (2016). A roadmap toward the development of sapienza smart campus. In *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 1–6. doi:10.1109/EEEIC.2016.7555573.
- Schaffers, H., Komninos, N., Pallot, M., Trousse, B., Nilsson, M., and Oliveira, A. (2011). Smart cities and the future internet: Towards cooperation frameworks for open innovation. In *The Future Internet*, 431–446. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Torres-Sospedra, J., Avariento, J., Rambla, D., Montoliu, R., Casteleyn, S., Benedito-Bordonau, M., Gould, M., and Huerta, J. (2015). Enhancing integrated indoor/outdoor mobility in a smart campus. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(11), 1955–1968. doi:10.1080/13658816.2015.1049541.

## Apêndice A. TELA DE MONITORAMENTO MEDIDOR 1 COMPLETA

Figura A.1. Tela do sistema de monitoramento completo dos medidores de energia com destaque para os parâmetros do medidor 1 ao longo de uma semana.