

Bruno Eduardo Carmelito

**Sistema Integrado de Gestão Energética do
câmpus José Rodrigues Seabra**

Brasil

2017

Bruno Eduardo Carmelito

Sistema Integrado de Gestão Energética do câmpus José Rodrigues Seabra

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciência em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Engenharia Elétrica

Programa de Pós-Graduação

Orientador: Dr. Guilherme Sousa Bastos

Coorientador: Dr. Carlos Roberto Rocha

Brasil

2017

Bruno Eduardo Carmelito
Sistema Integrado de Gestão Energética do câmpus José Rodrigues Seabra/
Bruno Eduardo Carmelito. – Brasil, 2017-
106 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. Guilherme Sousa Bastos

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Engenharia Elétrica
Programa de Pós-Graduação, 2017.

1. Sistemas Supervisórios. 2. Sistemas Fotovoltaicos. 3. PIMS 4. Gestão Energética

CDU 02:141:005.7

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus avós e familiares pelo apoio e formação que deram para sempre buscar crescimento profissional e intelectual. Aos meus orientadores Guilherme Sousa Bastos e Carlos Roberto Rocha, que se dedicaram e não pouparam esforços para que o projeto fosse implantado no câmpus da UNIFEI. Em especial à minha esposa que sempre esteve ao meu lado em todos as decisões e durante todo o trabalho.

Aos colegas José Renato e Mateus que participaram da implantação e ajudaram no desenvolvimento do sistema. Ao IFSuldeminas pela ajuda e flexibilização de horários para dedicação aos estudos, e à empresa OSISoft pelo apoio e parceria do software.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para concretização deste trabalho.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original.
(Albert Einstein)”*

Resumo

O trabalho propõe a implantação de um sistema integrado de gestão energética para a UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá), câmpus José Rodrigues Seabra que possa trabalhar com todos os dados gerados dentro da instituição. A utilização de softwares e hardwares que integram a pirâmide da automação, em especial às camadas PIMS (*Plant Information Management System*) e SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), compõem o sistema. O sistema é composto por medidores de energia, sistemas fotovoltaicos, softwares de controle e supervisão. Os softwares comerciais utilizados no trabalho foram o Elipse Power na camada SCADA, o software PI System na camada PIMS, e o software Power BI na camada ERP (*Enterprise Resource Planning*). Através de todo o sistema foram realizadas análises de indicadores que classificam e caracterizam a instalação a partir das questões técnicas, apontando a eficiência do uso da energia elétrica. O sistema proposto obteve resultados de armazenamento de grande quantidade e diversidade de dados, consultas em tempo real, análises e correlação de diversos tipos de dados para geração de relatórios e estudos futuros, bem como a tomada de decisões estratégicas por parte da instituição.

Palavras-chaves: *Smart Grid*, PIMS, Sistema Fotovoltaico, Gestão Energética.

Abstract

The work proposes the implementation of an integrated energy management system for UNIFEI (Federal University of Itajubá), José Rodrigues Seabra campus, which works with all the data generated within the institution. The use of softwares and hardware that integrate the pyramid of automation in particular as PIMS (Plant Information Management System) and SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) layers make up the system. The system consists of energy meters, photovoltaic systems, control and supervision software. The commercial software used in the work was Elipse Power in the layer SCADA, the PIMS system's PI System software, and the Power BI software in the ERP (Enterprise Resource Planning). Throughout the system in the analyzes of indicators that classify and characterize an installation in electronic format, pointing and using the electric energy. The proposed system obtains results of large quantity and diversity of data storage, real-time queries, analysis and correlation of several types of data for the generation of studies and future studies, as well as a strategic decision making by the institution.

Key-words: Smart Grid, PIMS, Photovoltaic System, Energy Management.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Sistema Energético Inteligente	16
Figura 2 – Pirâmide de Automação	23
Figura 3 – Modelo hierárquico, adaptado de ISA (2010)	23
Figura 4 – Modelo de Gestão de Energia (CATÁLOGO, 2011)	25
Figura 5 – Fluxo de Ações PDCA (PINTO, 2014)	25
Figura 6 – Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos	29
Figura 7 – Curva Característica de potência do sistema fotovoltaico (ESRAM; CHAPMAN, 2007)	30
Figura 8 – Sistema Fotovoltaico tipo BAPV	31
Figura 9 – Sistema Fotovoltaico tipo BIPV	32
Figura 10 –SFVCR	33
Figura 11 –SFVDR	33
Figura 12 –Frame Modbus (PROTOCOL, 1996)	38
Figura 13 –Integração do sistema ERP	40
Figura 14 –Eclipse Power (MUSARRA, 2013)	42
Figura 15 –Arquitetura PIMS (CARVALHO; FONSECA; FILHO, 2003)	44
Figura 16 –PI System (OSISOFT, 2016)	46
Figura 17 –PI System Arquitetura (OSISOFT, 2016)	46
Figura 18 –PI System Visualize (OSISOFT, 2016)	47
Figura 19 –Power BI (LACHEV; PRICE, 2015)	48
Figura 20 –Power BI Services (LACHEV; PRICE, 2015)	49
Figura 21 –Universidade Federal de Itajubá - câmpus José Rodrigues Seabra	51
Figura 22 –Diagrama Unifilar - UNIFEI	52
Figura 23 –Prédios analisados	53
Figura 24 –Inversor Fronius Galvo 1.5-1	54
Figura 25 –Usina Fotovoltaica EXCEN	54
Figura 26 –Inversor Fronius IG Plus 100 V-3	55
Figura 27 –Usina Fotovoltaica CERIn	55
Figura 28 –Medidor CCK 4400M	56
Figura 29 –Conversor CCK	56
Figura 30 –Medidor UNIFEI	57
Figura 31 –Endereços IPs dos medidores instalados no câmpus	58
Figura 32 –Supervisório CCK	59

Figura 33 –Servidor Modbus CCK	60
Figura 34 –Driver de Comunicação Elipse Power com Medidores de Energia	61
Figura 35 –Driver de Comunicação Elipse Power com PV	61
Figura 36 –Pirâmide do Sistema Implementado	62
Figura 37 –Arquitetura Elipse Power - UNIFEI	63
Figura 38 –Modelagem Elétrica	64
Figura 39 –Supervisório Elipse Power	65
Figura 40 –Infraestrutura PI (OSISOFT, 2016)	65
Figura 41 –Configuração das Tags	66
Figura 42 –Árvore da UNIFEI no AF Explorer	67
Figura 43 –Modelagem Elétrica	68
Figura 44 –Process Book	69
Figura 45 –PI Coresight UNIFEI	70
Figura 46 –PI DataLink	71
Figura 47 –Arquitetura PI System - UNIFEI	72
Figura 48 –Power BI UNIFEI	73
Figura 49 –Fator de Potência em relação a Potência Ativa e Reativa	76
Figura 50 –Fator de Potência de Janeiro a Agosto	76
Figura 51 –Análise de FP nos prédios que possuem GD	77
Figura 52 –Período 1 e 2	78
Figura 53 –Período 3 e 4	79
Figura 54 –Consumo Horário - Outubro de 2016	80
Figura 55 –Representação percentual de consumo por unidade no período de 2016	80
Figura 56 –Performance Ratio Sistemas Fotovoltaicos-2016	82
Figura 57 –Irradiância Anual(2016)	83
Figura 58 – <i>YIELD</i> EXCEN	84
Figura 59 –Perfil de Geração x Consumo EXCEN - Janeiro de 2017	85
Figura 60 –Perfil de Geração Fotovoltaica Anual	86
Figura 61 –Comparação Geração Fotovoltaica 2015/2016	86
Figura 62 –Perfil de Energia EXCEN no primeiro trimestre de 2016	87
Figura 63 –Atributos configurados no Analyse AF	91
Figura 64 –Equações implementadas no AF	92
Figura 65 –Fatores de Distribuição	92
Figura 66 –Indicadores de Sustentabilidade	93
Figura 67 –Indicadores de Sustentabilidade PI Coresight	93
Figura 68 –Fatores de Distribuição PI Coresight	94
Figura 69 – <i>Analyse</i> PICoresight	94

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tecnologias de Rede de Campo para Smart Grids, adaptado de (SAUTER; LOBASHOV, 2011)	37
Tabela 2 – câmpus José Rodrigues Seabra	51
Tabela 3 – Usina Fotovoltaica EXCEN	54
Tabela 4 – Usina Fotovoltaica CERin	55
Tabela 5 – Endereços dos medidores instalados no câmpus	57
Tabela 6 – Principais Grandezas Medidas	60
Tabela 7 – Energia por período	78
Tabela 8 – Percentual anual de consumo por unidade	81
Tabela 9 – Diferença irradiância medida x NASA - 2016	83
Tabela 10 – <i>YIELD</i> EXCEN	84
Tabela 11 – <i>YIELD</i> Cerin	85

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADU	Application Data Unit
AMR	American Manufacturing Research
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APs	Access Points
BAPV	Building-Applied Photovoltaic System
BI	Business Intelligence
BIPV	Building-Integrated Photovoltaic System
CERIn	Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes
CIGRE	<i>Conseil International des Grands Réseaux Électriques</i>
CRC	Cyclic Redundancy Check
DER	Distributed Energy Resources
DG	Geração Distribuída
EPS	Enterprise Production Systems
ERP	Enterprise Resource Planning
EXCEN	Centro de Excelência em Eficiência Energética
FP	Fator de Potência
GTDU	Geração, Transmissão, Distribuição e Utilização
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Eletronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
LRC	Longitudinal Redundancy Checking

MES	Manufacturing Execution Systems
MESA	MES Association
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PDU	Protocol Data Unit
PIMS	Plant Information Management System
PR	Performance Ratio
SADA	Sistema de Aquisição de Dados Atmosféricos
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SFDR	Sistema Fotovoltaico Desconectado da Rede
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
YP	<i>Yield Photovoltaic</i>

Sumário

I	Introdução	14
1	Introdução	15
1.1	Motivação	17
1.2	Objetivo	19
1.2.1	Objetivos Específicos	19
1.3	Contribuições do Trabalho	19
1.4	Estrutura do Trabalho	20
II	Revisão da Literatura	21
2	Gerenciamento	22
3	Geração Distribuída	27
3.1	<i>Micro Grid</i>	28
3.2	Sistemas Fotovoltaicos	28
3.2.1	Módulos Fotovoltaicos	29
3.2.2	Inversores Fotovoltaicos	30
3.2.3	MPPT - <i>Maximum Power Point Tracker</i>	30
3.2.4	Integração dos sistemas fotovoltaicos à instalação elétrica	31
3.2.5	Conexão com a Rede Elétrica	32
3.3	Medição	34
3.4	Redes de Comunicação	36
3.4.1	Protocolo Modbus	37
4	ERP - <i>Enterprise Resource Production</i>	39
4.1	SCADA - <i>Supervisory Control and Data Aquisition</i>	40
4.1.1	Elipse Power	41
4.2	MES - <i>Manufacturing Execution System</i>	42
4.3	PIMS - <i>Plant Information Management System</i>	43
4.3.1	PI System	44
4.4	BI - <i>Business Intelligence</i>	47
4.4.1	Power BI	48

III Desenvolvimento	50
5 Instalação do câmpus	51
5.1 Sistema Elétrico	52
5.2 Sistema Fotovoltaico	54
5.3 Medidores	56
5.3.1 Endereçamento dos medidores	57
5.3.2 <i>Driver</i> de Comunicação Elipse Power	60
5.4 Arquitetura	62
5.4.1 Elipse Power	63
5.4.2 PI System	65
5.4.3 Power BI	72
IV Resultados	74
6 Indicadores	75
6.1 Fator de Potência	75
6.2 Uso da Energia por Horário	78
6.3 Consumo individual	80
6.4 Indicadores do Sistema Fotovoltaico	81
6.5 Correlação de dados	85
6.5.1 Análises no PI System	87
6.5.1.1 Indicadores de monitoramento do uso da energia elétrica	88
6.5.1.2 Fatores da Distribuição	88
6.5.1.3 Indicadores de Sustentabilidade	90
6.5.1.4 Implementação das equações no <i>Analyse AF</i>	91
V Conclusão	95
Conclusão	96
6.6 Trabalhos Futuros	96
Referências	98
Anexos	102
ANEXO A Projeto CERin	103
ANEXO B Datasheet Inversor FRONIUS GALVO	105

Parte I

Introdução

1 Introdução

As redes de energia elétrica são estruturas maciçamente distribuídas e são os maiores equipamentos construídos até a presente data. A rede elétrica tradicional é um sistema estritamente hierárquico no qual as usinas no topo da cadeia garantem a entrega de energia às cargas dos clientes na parte inferior da cadeia. O sistema é essencialmente um caminho unidirecional onde a fonte não tem informações em tempo real sobre os parâmetros de serviço dos pontos de uso.

A informação está disponível ao longo de toda a estrutura distribuída a partir de camadas de Geração, Transmissão, Distribuição e Utilização (GTDU), sendo que existe uma necessidade de usar esta informação para melhorar o funcionamento da rede de energia em termos de confiabilidade, desempenho, eficiência e robustez. A mudança de uma rede convencional para uma rede com recursos de energia não convencionais, como a eólica, solar e bio-combustível resultam em uma rede de energia distribuída (DER) com a redução de emissão de carbono.

A integração de DERs e dispositivos de armazenamento de energia são necessários para a sua utilização e armazenamento eficaz. A disponibilidade de DER mudou o cenário de produção de energia atual, onde estes sistemas de energia tradicionais apresentam um quadro de uma estrutura de envelhecimento, lutando para enfrentar estes novos desafios para os quais não estão projetados (SRINIVASAN; KOTTA; RAMASWAMY, 2013).

A integração de mais energias renováveis nos próximos anos é uma prioridade, e uma realidade iminente, por conseguinte, as energias renováveis já não podem ser consideradas um complemento da produção de energia convencional, e sim uma das principais fontes, sendo a necessária sua total integração ao sistema energético para garantir que o mesmo continue a funcionar adequadamente. As fontes de energia renováveis, como a solar, são flutuantes e requerem equilíbrio e reservas no sistema energético. Se as energias renováveis fossem integradas unicamente na forma convencional, exigiria enormes investimentos na rede e na capacidade de produção de eletricidade. Dessa forma, devem ser introduzidas soluções inteligentes que permitam uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos e infra-estruturas.

Este desafio será ainda maior a longo prazo, pois os recursos energéticos distribuídos e a produção flutuante de energia desafiam o sistema elétrico convencional. A integração das energias renováveis exige regulação e interação em todo o sistema de energia. Implica em novas formas de coordenação entre o consumo, produção e armazenamento de energia, e implica numa transmissão de energia mais dinâmica e extensiva internacionalmente. No entanto, existem muitas possibilidades inexploradas para atender a essas

demandas, particularmente em relação à comunicação e automação.

A utilização de sistemas de gestão energética será essencial para garantir um futuro desenvolvimento sustentável e seguro. Desenvolver um sistema de gestão energética inteligente e dinâmico que corresponda às necessidades futuras é um desafio importante, se não o mais importante do sistema. A Figura 1 apresenta as necessidades para a integração de todos os elementos da estruturais do sistema elétrico, comunicação, medição e gerenciamento.



Figura 1: Sistema Energético Inteligente

As mudanças envolverão todas as partes do sistema de energia: geração, transmissão, distribuição e consumidores finais. No meio do sistema encontram-se hardwares, redes de comunicação e o mercado energético. Muitos sistemas tradicionais serão desafiados a desenvolver esse novo sistema energético. A demanda de energia se tornará uma parte ativa no sistema, competindo com a geração de energia em um sistema de mercado onde pequenas e grandes unidades podem competir em condições de igualdade.

Neste contexto o conceito *smart grid* torna-se cada vez mais atraente para os produtores de energia e os consumidores em geral. Entre os principais desafios para o sucesso da realização do *smart grid* inclui-se a integração de energias renováveis, recursos energéticos, resposta à demanda em tempo real e a gestão dos recursos energéticos intermitentes (EKANAYAKE et al., 2012).

Para o desenvolvimento de um *smart grid*, ou de micro-redes deve-se levar em consideração questões como o desempenho do sistema, modelagem, monitoramento e controle das *microgrid*. Em particular, os recentes avanços na Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) podem facilitar o efetivo desenvolvimento do futuro sistema de *microgrid* (SHAMSHIRI; GAN; TAN, 2012). Deve-se notar que a Tecnologia de Informação e Comu-

nicação é a principal tecnologia habilitadora para a realização de muitos dos objetivos do futuro sistema de energia, como robustez, envolvimento do cliente e operação do mercado. Por exemplo, as tecnologias de informação e comunicação também podem servir como um meio importante para colocar em ação os equipamentos do sistema que não são utilizados, para implementar funções avançadas de comunicação, coordenação, monitorização e controle na rede e nos seus subsistemas e componentes.

O sistema de gestão energética traz as filosofias, os conceitos e as tecnologias que permitiram o estabelecimento da interação do sistema de energia. Muitos sistemas já estão em operação, contudo, somente quando são realizadas por meio da comunicação bidirecional em tempo real e armazenamento de dados, que se consegue um gerenciamento eficaz, abrangendo todas as camadas do sistema. Todo este cenário somente é possível com elementos importantes neste desenvolvimento: resposta à demanda, medição inteligente e tecnologia de visualização e controle.

Todas estas características são encontradas nos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), PIMS (*Plant Information Management System*) e MES (*Manufacturing Execution Systems*).

1.1 Motivação

Com a Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), houve um aumento significativo do número de vagas oferecidas em cursos superiores. Para que isto pudesse ocorrer, o governo federal realizou uma série de investimentos em recursos humanos e infraestrutura, tanto para reestruturar as universidades já existentes como para a criação de novas (LUGÃO; ABRANTES; JÚNIOR, 2015).

O aumento na oferta de vagas gerou um aumento populacional nas universidades, impactando diretamente nas despesas operacionais como água, energia, telefonia, internet, limpeza, segurança, transporte, etc. Tal aumento, somado à dificuldade das Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) na utilização de sistemas de apuração de custos, é preocupante: "... destacam-se o baixo uso de sistema de apuração de custos (4 unidades), assimetria de informações quanto à justificativa do não uso de algum tipo de sistema, porque aproximadamente 90% das IFES não utilizam nenhum tipo de sistema, das quais 22% simplesmente descrevem no relatório que não possuem sistema. Contudo, observa-se o elevado interesse na implantação de uma sistemática de custo, principalmente o Sistema de Informações de Custos do Governo Federal (SIC) com cerca de 20% da amostra." (SANTOS; COSTA; VOESE, 2016).

São de preocupação federal tanto o levantamento dos custos operacionais *versus* aluno, quanto custos operacionais *versus* taxa de sucesso acadêmico. Segundo Marques (2016), "O TCU para avaliar o desempenho das IFES, desenvolveu indicadores que apon-

tam desde o custo corrente por aluno até a taxa de sucesso acadêmico resultantes da aplicação dos recursos a elas destinados. Tais indicadores devem ser divulgados por cada instituição em seus relatórios de prestação de contas anuais".

De acordo com [Shoup \(2006\)](#), grandes universidades são como pequenas cidades. Portanto os problemas enfrentados pelas pequenas cidades também são enfrentados pelas universidades. Com o propósito de melhorar a qualidade de vida dos habitantes das cidades, surgiu o conceito de *Smart City*. Segundo [Su, Li e Fu \(2011\)](#), uma *Smart City* surge com o uso de tecnologias da informação e comunicação para detectar, analisar e integrar as principais informações dos principais sistemas em execução nas cidades. Também, a *Smart City* pode apresentar respostas inteligentes para diferentes tipos de necessidades, como por exemplo soluções para transporte, segurança pública, saúde, educação, saneamento, geração e distribuição de energia.

Analogamente, um *Smart Campus* comporta-se como uma *Smart City*. Porém, existe uma pequena diferença: os câmpus possuem informações acadêmicas que podem ser analisadas para melhorar o índice de aprovação dos alunos. [Sundorph e Mosseri-Marlio \(2016\)](#) apresentam em seu estudo como aproveitar as informações comportamentais dos estudantes, por onde ele passa, o que ele utiliza, etc. a fim de relacionar sua aprovação/reprovação com a infraestrutura da universidade oferecida para o mesmo.

Os principais ativos da universidade são os professores, estudantes e funcionários. Cada um com seu interesse distinto dentro da instituição. [Pollock e Cornford \(2005\)](#) mencionam que a universidade é um conjunto de estudiosos reunidos em busca e disseminação do conhecimento, baseados em uma estrutura complexa e com alto grau de autonomia. Neste sentido pode-se considerar a universidade como uma organização sem fins lucrativos, porém algumas semelhanças se cruzam entre as universidades e as empresas, compartilhando do grande desafio e dificuldade de se manter em um meio competitivo, aumentando assim a necessidade de ambas serem mais eficientes.

Com o aumento dos programas assistenciais o número de alunos dentro das universidades só vem aumentando ([VIEIRA; SILVA; VIEIRA, 2017](#)), e de outro lado a redução de investimentos por parte do governo aumenta. Como resultado, o meio que as universidades tem para gerir este número é melhorar sua eficiência. Através da implementação de um sistema de gestão energética permite que a instituição possa mensurar o uso das energias gerando indicadores que caracterizam o comportamento dentro do câmpus, avaliando assim fatores que geram economia e otimização do uso da energia. Este sistema já é trabalhado em pesquisas internas através da Tecnologia da Informação, adotando um sistema PIMS.

O uso de sistemas PIMS trazem a integração de todos os dados da universidades, consolidando os sistemas e bases de dados existentes. À medida que diferentes departamentos de uma instituição compartilham um banco de dados integrado, os usuários finais

podem acessar dados em tempo real. A tecnologia de informação como as tecnologias da web, os *smartphones* e os serviços online, oferece benefícios adicionais não apenas à administração de uma instituição, mas também a pessoas que interagem constantemente com a instituição - professores, estudantes e funcionários (ZORNADA; VELKAVRH, 2005).

1.2 Objetivo

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de gestão energética do câmpus José Rodrigues Seabra, composto por software e hardware capazes de explorar os recursos da pirâmide de automação, em especial as camadas PIMS e SCADA, proporcionando a integração dos medidores de energia distribuídos ao longo da Universidade aos sistemas de geração distribuída presentes e qualquer outro sistema que possa fornecer informações. Por meio do sistema será possível monitorar o consumo e a geração, vislumbrando tomadas de decisão através das análises realizadas, com a finalidade de uma maior eficiência energética.

1.2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Aumentar a eficiência energética;
- Auxiliar nas tomadas de decisões estratégicas do sistema energético;
- Monitorar o consumo e a geração;
- Integrar os medidores de energia à geração fotovoltaica;
- Desenvolvimento de software de controle para demanda;
- Correlação de dados;
- Geração de dados para subsidiar futuras pesquisas;
- Acesso às informações para toda a comunidade acadêmica.

1.3 Contribuições do Trabalho

O presente trabalho visa contribuir trazendo vantagens para o câmpus e serviços aprimorados, como:

- Melhorar o acesso à informação para o planejamento e gerenciamento da instituição;
- Aprimorar a capacidade estratégica de tomada de decisões e planejamento;

- Apoiar análises de dados sofisticadas para uso na tomada de decisões;
- Aumentar a integridade, validade e confiabilidade dos dados;
- Acesso aos dados em tempo real;
- Aumentar a eficiência.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos: Introdução, Revisão da Literatura, Desenvolvimento, Resultados e Conclusão. O capítulo 2, Revisão da Literatura, traz o embasamento teórico de todas as partes utilizadas para o desenvolvimento do sistema. O capítulo 3 é destinado à apresentação dos sistemas utilizados, softwares e hardwares, dentro do câmpus. O capítulo seguinte é formado pelos resultados obtidos com a implantação do sistema, análises comparativas realizadas, levantamento de dados e indicadores. Por fim é realizada a conclusão e são discutidos trabalhos futuros que poderão ser implantados dentro do câmpus utilizando como base o sistema desenvolvido.

Parte II

Revisão da Literatura

2 Gerenciamento

Os sistemas proprietários das empresas estão passando por uma avalanche de informações para as quais não foram projetados, pois a necessidade de comunicação tornou-se algo prioritário para o mercado atual. A informação passou de um dado mensurado para um diferencial estratégico, capaz de alavancar ou despromover uma empresa.

Segundo [Gomes \(2004\)](#), a informação é o bem mais precioso de todas as empresas existentes no mundo nos mais diferentes segmentos industriais. Saber como, onde e quando está o processo é um diferencial estratégico capaz de maximizar os lucros e paralelamente diminuir custos. As novas tecnologias de controle fizeram com que a competitividade industrial aumentasse largamente nos mais diversos segmentos de mercado. A integração de diversos níveis dentro dos sistemas corporativos fez com que se conseguisse, em tempo real, saber informações que antes levavam horas e até dias para se obter, facilitando assim todo o processo de comunicação.

Em primeiro instante, parte desta motivação se deve a fatores históricos. Vivenciou-se nos últimos anos uma total diversidade tecnológica. Centenas de fabricantes de hardware e software de automação vendendo sistemas fechados e proprietários. A escolha por uma marca ou fabricante era quase como um caminho de mão única. O custo de mudança era absurdo e o de integração com outros sistemas inviável. Ainda, segundo [Gomes \(2004\)](#), até o início dos anos 90 os sistemas de controle eram considerados ilhas de automação. Para que se conseguisse uma total automação era necessário implementar por completo um sistema de integração da operação. Este sistema comportaria desde o nível de campo, sensores e atuadores, passando pelos dispositivos de rede até o controle de processos. Assim, hoje a tecnologia é presenciada através da informação como sendo a principal diferenciação tecnológica das empresas.

No contexto geral a pirâmide de automação, [Figura 2](#), exemplifica de modo fiel a integração das operações. Com quatro níveis, interage desde a camada de campo, passando pelo sistema SCADA até chegar aos últimos blocos, com os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*)/PIMS e ERPs (*Enterprise Resource Planning*), ampliando assim o sistema de controle para um sistema de gerenciamento de recursos.

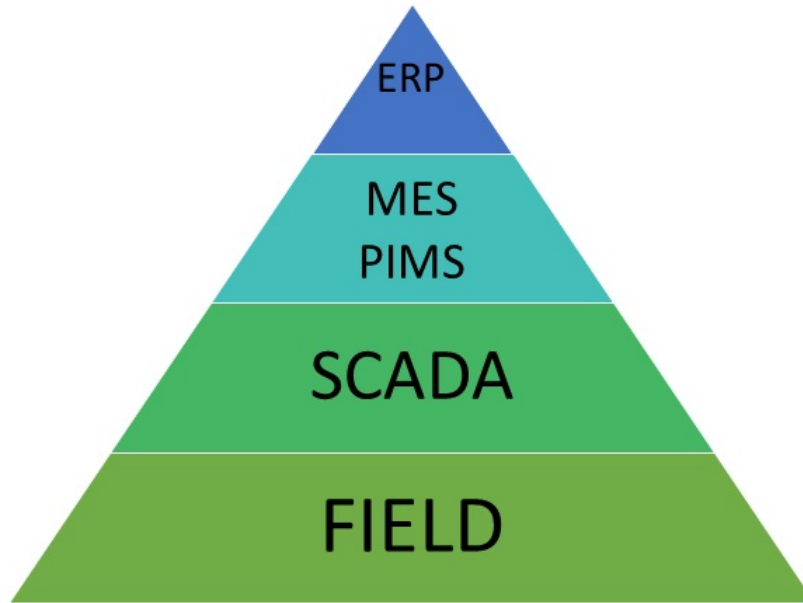


Figura 2: Pirâmide de Automação

A Norma ISA (2010) define este modelo hierárquico através dos níveis de função de cada sistema dentro da pirâmide, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

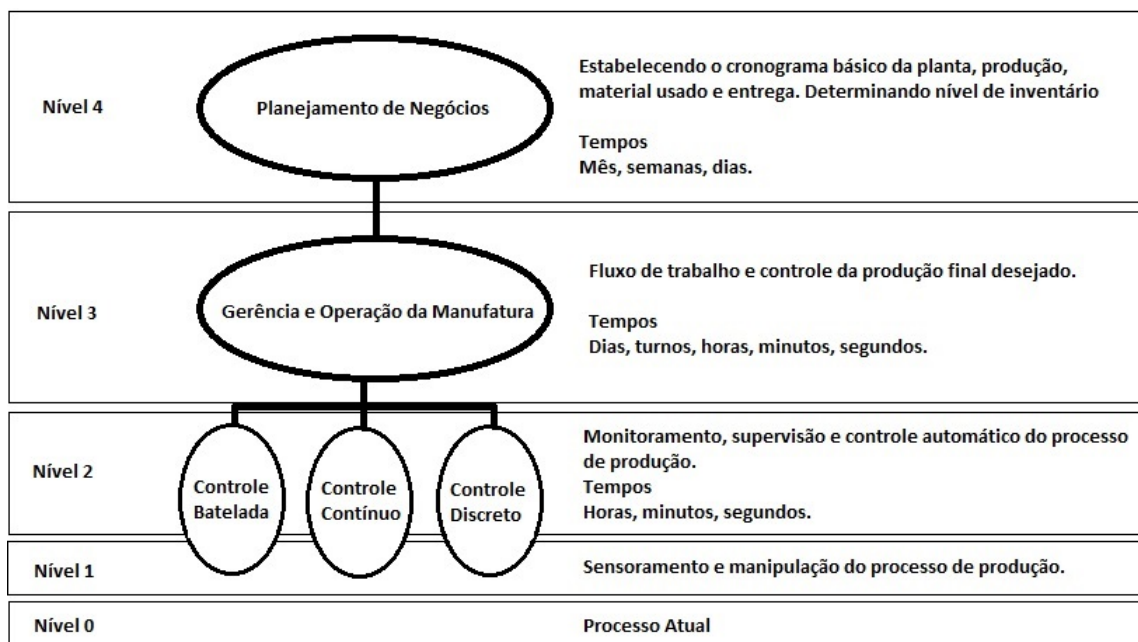


Figura 3: Modelo hierárquico, adaptado de ISA (2010)

Dentro do modelo hierárquico de uma organização o suprimento de energia representa um custo importante, independentemente de sua atividade. Pode-se ter uma ideia ao considerar o uso de energia através da corrente de fornecimento de uma empresa, desde as matérias primas até o produto final. Além dos custos econômicos de energia para uma organização, a energia pode impor custos ambientais e sociais, dado que sua geração pode

esgotar os recursos naturais e contribuir para problemas como as alterações climáticas, por outro lado, melhorar o desempenho energético pode fornecer benefícios rápidos para uma organização, maximizando o uso de suas fontes de energia e ativos relacionados com a energia, reduzindo assim o custo e consumo da mesma. Além de contribuir positivamente na redução do esgotamento dos recursos energéticos e mitigar os efeitos do uso de energia em todo o mundo.

A ISO 50001:2011, Sistemas de gestão de energia - Requisitos com orientações para uso, é uma Norma Internacional desenvolvida pela ISO (*International Organization for Standardization*). A ISO 50001 fornece às organizações os requisitos para sistemas de gestão de energia, fornecendo benefícios para organizações grandes e pequenas, nos setores público e privado, na fabricação e serviços em todas as regiões do mundo. A ISO 50001 estabelece estratégias de gestão para instalações industriais, comerciais, instalações institucionais e governamentais e organizações inteiras para aumentar e melhorar a eficiência energética, e reduzir seus custos. Estima-se que a regra destina-se uma ampla aplicabilidade em todos os setores da economia nacional, e poderia influenciar até 60% do consumo de energia no mundo de acordo com [Gruenspecht \(2010\)](#).

A norma tem como objetivo proporcionar a integração da eficiência energética em suas práticas de gestão para as organizações. Os principais pontos da norma são:

- Ajudar as organizações a fazerem melhor uso de seus recursos energéticos existentes;
- Criar transparência e facilitar a comunicação sobre a gestão dos recursos energéticos;
- Promover as melhores práticas e comportamentos de gestão de energia reforçando a boa gestão energética;
- Ajudar a avaliar e priorizar a implementação de novas tecnologias de eficiência energética;
- Facilitar e melhorar a gestão de energia para projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa;
- Permitir a integração com outros sistemas de gestão organizacional, tais como saúde e segurança ambiental.

A ISO 50001 baseia-se no modelo ISO de sistema de gestão familiar para mais de um milhão de organizações em todo o mundo que aplicam normas como a ISO 9001 (Gestão da Qualidade), ISO 14001 (Gestão Ambiental), ISO 22000 (Segurança Alimentar), ISO/IEC 27001 (Segurança da Informação). No Brasil utiliza-se a ABNT NBR ISO 50001:2011. Em particular, o processo ISO 50001 segue a estrutura do ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Checar e Atuar) na melhoria contínua do sistema de gestão de energia, como ilustrado na [Figura 4](#).

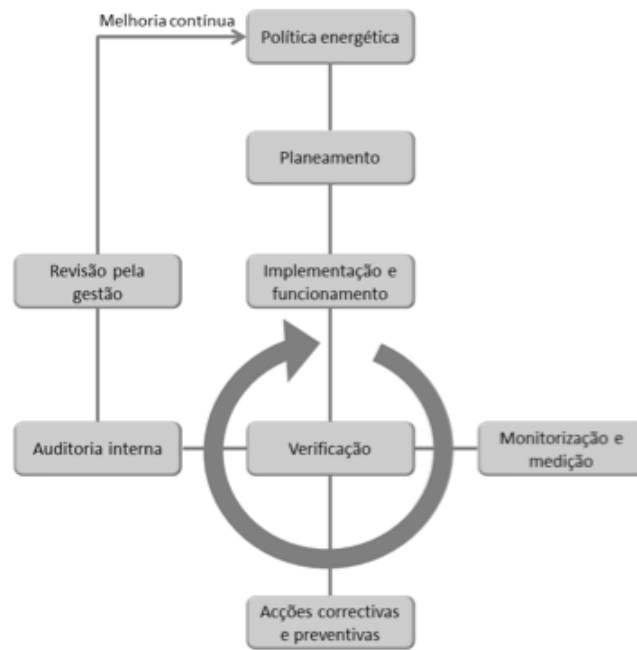


Figura 4: Modelo de Gestão de Energia (CATÁLOGO, 2011)

Estas características permitem que as organizações integrem o gerenciamento de energia com seus esforços globais para melhorar a gestão da qualidade, meio ambiente e outras questões abordadas pelos seus sistemas de gestão. Pinto (2014) traz o PDCA em fluxo de ações para estabelecer o sistema de gestão mostrado na Figura 5.

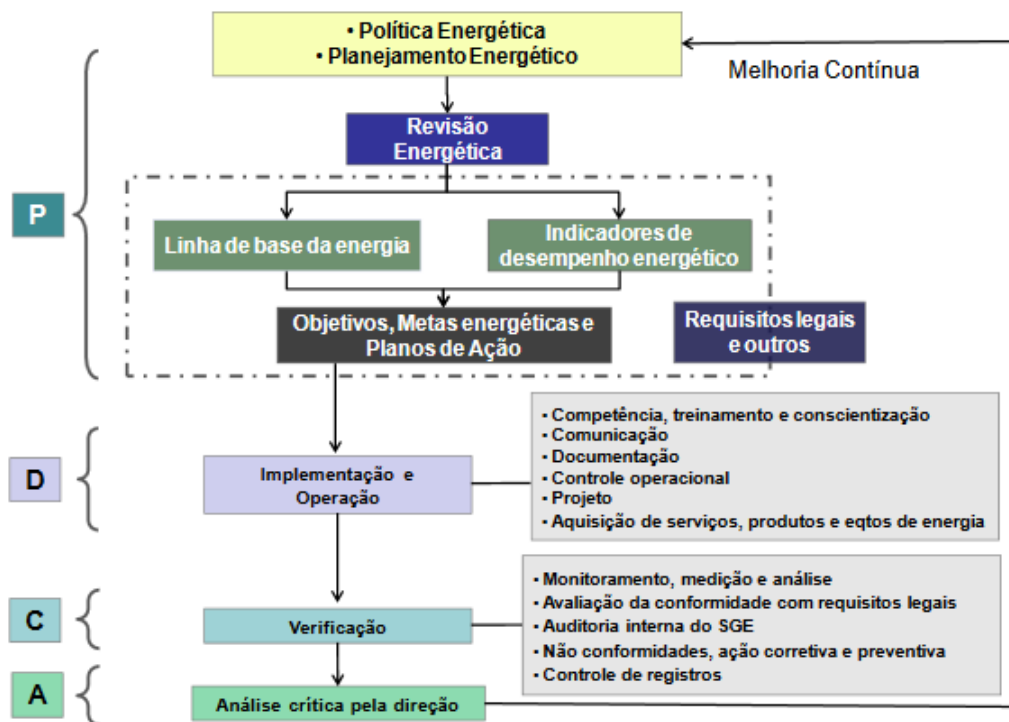


Figura 5: Fluxo de Ações PDCA (PINTO, 2014)

De acordo com [Catálogo \(2011\)](#), a ISO 50001 fornece uma estrutura de requisitos que permitem às organizações:

- Fixar metas e objetivos para atender às políticas definidas;
- Usar os dados para melhor compreender e tomar decisões sobre o uso e consumo de energia;
- Medir resultados;
- Analisar a eficácia da política;
- Melhorar continuamente a gestão da energia.

3 Geração Distribuída

Existem diversas definições relacionadas ao conceito de geração distribuída, como revisam [DIVYA, REDDY e RADHIKA \(2015\)](#). Segundo [Ackermann, Andersson e Söder \(2001\)](#), por exemplo, a geração distribuída pode ser definida como uma fonte de geração conectada diretamente à rede de distribuição ou ao consumidor. A potência instalada, nesta definição, não é considerada relevante para sua caracterização. O autor, neste mesmo trabalho, divide a geração distribuída em função da potência em Micro (até 5 kW), Pequena (de 5 kW a 5 MW), Média (de 5 MW a 50 MW) e Grande (de 50 MW a 300 MW), valores que consideram a realidade americana. No Brasil, a geração distribuída é geralmente limitada superiormente por uma potência instalada de 30 MW ou de 50 MW, dependendo do autor. Existem situações, entretanto, que mesmo sistemas com potências maiores poderiam ser considerados geração distribuída. Assim, para a caracterização que se pretende neste texto e utilizando-se da notação empregada por [Ackermann, Andersson e Söder \(2001\)](#), pode-se dividir a geração distribuída nas seguintes faixas:

- Micro GD: Sistemas com potência inferior a 1 MW;
- Pequena GD: sistemas com potência entre 1 e 30 MW;
- Média GD: sistemas com potência entre 30 e 50 MW;
- Grande GD: Sistemas com potência entre 50 e 100 MW.

Outras definições, independente da capacidade instalada, têm sido adotadas. Segundo o CIGRE (Em Francês: *Conseil International des Grands Réseaux Électriques*), geração distribuída é a geração que não é planejada de modo centralizado, nem despachada de forma centralizada, não havendo portanto um órgão que comande as ações das unidades de geração descentralizada ([DIAS; BORTONI; HADDAD, 2006](#)). Para o IEEE (*Institute of Electrical and Eletronics Engineers*), geração descentralizada é uma central de geração pequena o suficiente para estar conectada a rede de distribuição e próxima do consumidor ([DIAS; BORTONI; HADDAD, 2006](#)). Também se inclui um tópico com relação às tecnologias de geração distribuída na base de fontes renováveis, como os sistemas eólicos, fotovoltaicos, a biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

3.1 *Micro Grid*

Uma *micro grid* é um conjunto isolado eletricamente de geradores de energia que abastecem toda a demanda de um grupo de clientes. Um exemplo possível de uma *micro grid* é um grupo de vinte casas residenciais que são totalmente desconectados da rede elétrica existente que têm suas cargas gerenciadas através de um controle de carga e sua energia fornecida por vinte sistemas fotovoltaicos na cobertura de 2 kW e cinco células de combustível de 10 kW.

Uma vantagem potencial de uma *micro grid* é que ela pode ter um custo menor do que o serviço existente. Isto é porque a *micro grid* não é sobrecarregada com o custo do sistema de transmissão e distribuição, bem como outras aplicações de cadeia existentes. Uma desvantagem potencial de uma *micro grid* é que ela tem que fornecer com segurança toda a demanda, sem os benefícios de um perfil de carga diversa e um perfil de geração de diversidade.

Dado a perspectiva da rede, a vantagem fundamental de uma *micro grid* é que ela pode ser considerada como uma entidade controlada dentro do sistema de energia, que pode ser operada como uma única carga agregada. Em outras palavras, ela pode estabelecer acordos contratuais de ligação com o fornecedor de energia em massa cobrindo seu padrão de uso que são pelo menos tão rigorosas como as que cobrem os clientes existentes, e que potencialmente pode fornecer serviços adicionais. Os clientes se beneficiam de uma *micro grid* porque ela é projetada e operada para atender às suas necessidades locais de calor e energia, bem como fornecer energia ininterrupta, aumentar a confiabilidade local e reduzir as perdas de alimentação.

3.2 Sistemas Fotovoltaicos

As alternativas mais utilizadas atualmente para geração de energia em grande escala impactam no meio ambiente e utilizam diretamente fonte esgotáveis de energia. Neste cenário surgem as fontes de energia renováveis e entre elas está a energia solar, que através do efeito fotovoltaico gera energia elétrica.

O Brasil está caminhando a passos lentos na implantação desta tecnologia quando comparada a vários países como Alemanha, Japão, China e Estados Unidos, que já detém na sua matriz energética sistemas de grande potência. O país se caracteriza como sendo um dos melhores lugares para se instalar o sistema, devido a grande área continental e localização geográfica, porém os incentivos fiscais e financeiros estão se inicializando, impossibilitando atualmente a adesão da população visto que o sistema necessita de um custo maior em sua implantação.

De acordo com [Masson, Latour e Biancardi \(2012\)](#), nos últimos 10 anos, a tecno-

logia fotovoltaica tem mostrado potencial para tornar-se uma das fontes de eletricidade predominantes no mundo, com um crescimento robusto e contínuo, mesmo em tempos de crise financeira e econômica. Espera-se que esse crescimento continue nos anos seguintes, respaldado pela conscientização das vantagens da energia fotovoltaica.

No final de 2009, a capacidade instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos era de aproximadamente 23 GW, um ano depois era de 40 GW. Em 2011, mais de 69 GW, estão instalados no mundo, podendo produzir 85 TWh de eletricidade a cada ano. Esse volume de energia é suficiente para abastecer a necessidade anual de mais de 20 milhões de casas (TIMILSINA; KURDGELASHVILI; NARBEL, 2012).

No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional de 2017, houve um aumento da geração elétrica solar fotovoltaica de 44,7% do ano de 2015 para 2016, representando um salto 59 GWh para 85 GWh (ENERGÉTICA, 2017). Segundo *Energética* (2017) e Zilles et al. (2016), contabilizando apenas a “micro” e “mini” Geração Distribuída, o Brasil atingiu 104,1 GWh com uma potência instalada de 72,5 MW. O destaque foi para a fonte solar fotovoltaica, com 53,6 GWh e 56,9 MW de geração e potência instalada, respectivamente.

3.2.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos Fotovoltaicos são o coração do sistema, fabricados a partir de células semicondutoras, possuem tecnologias diferentes para diversos sistemas e eficiências de acordo com o semicondutor utilizado. Os mais comuns de serem aplicados são silício cristalino (c-Si), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), telureto de cádmio (CdTe), e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS, CIGS) (RÜTHER, 2004).

A Figura 6 apresenta a eficiência dos módulos citados acima pela área.

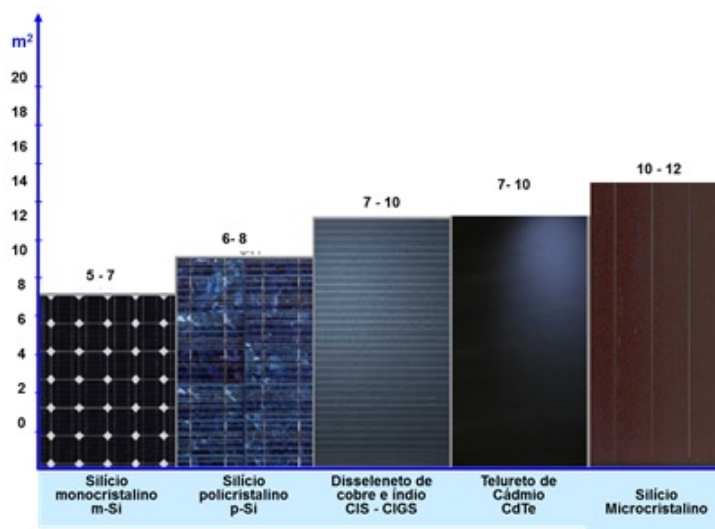


Figura 6: Eficiência dos Módulos Fotovoltaicos

3.2.2 Inversores Fotovoltaicos

A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos está em corrente contínua impossibilitando assim de ser inserida diretamente na rede elétrica, desta forma os inversores fotovoltaicos desempenham um papel fundamental na interligação dos mesmos à rede. São responsáveis pela conversão da corrente contínua gerada pelos módulos para corrente alternada com as mesmas características que da rede da concessionária. Os inversores possuem arquiteturas diferentes para cada tipo de instalação, podendo ser conectados de modo paralelo ou individuais à rede elétrica.

De acordo [Rüther \(2004\)](#), alguns aspectos devem ser considerados para a escolha de um inversor: eficiência, segurança, qualidade da energia gerada, compatibilidade com o arranjo fotovoltaico, manutenção e características físicas.

3.2.3 MPPT - *Maximum Power Point Tracker*

Os módulos fotovoltaicos possuem baixa eficiência conforme visto na Figura 6, a sua conversão de irradiação solar em energia elétrica é ineficiente. Assim, a busca pela extração da sua máxima potência se torna desejável a todo momento. Para ajustar e melhorar o rendimento dos módulos foram desenvolvidos dispositivos que rastreiam o ponto de máxima potência.

O rastreador do ponto de potência máxima (MPPT) de um conjunto fotovoltaico é normalmente uma parte essencial de um sistema fotovoltaico, com a finalidade de melhorar a eficiência do sistema ([ESRAM; CHAPMAN, 2007](#)). A técnica MPPT consiste em encontrar automaticamente o ponto em que a tensão (V_R) e a corrente (I_R) da matriz fotovoltaica opera para obter eficientemente a potência máxima sob uma dada temperatura e irradiância, como apresentado na Figura 7.

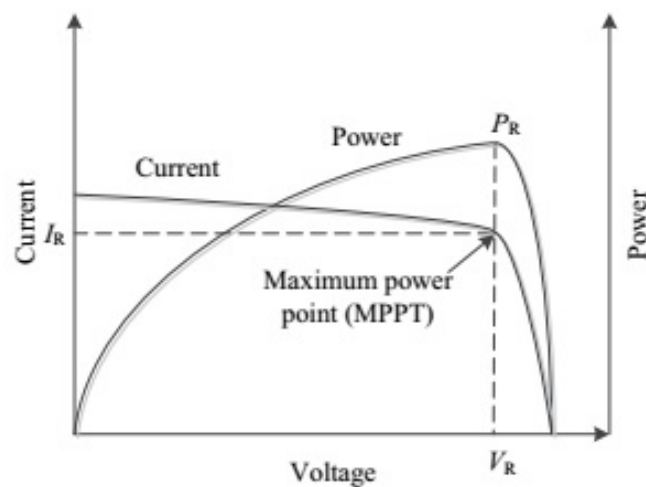


Figura 7: Curva Característica de potência do sistema fotovoltaico ([ESRAM; CHAPMAN, 2007](#))

Diversos algoritmos e técnicas de MPPT são utilizados nos inversores para extrair a máxima potência de saída de uma matriz fotovoltaica sob uma dada condição climática. O inversor é continuamente controlado para operar o sistema em seu ponto de potência máxima, apesar das possíveis mudanças na impedância de carga. De acordo com a análise realizada por VICENTE (2015) dentro dos diferentes algoritmos de MPPT destacam-se as técnicas de condutância incremental, corrente de curto-circuito e da tensão de circuito aberto, e ainda com um considerável rendimento o método Perturba e Observa (PO), que conseguem obter o melhor rendimento dos módulos para condições de irradiância e temperatura distintas.

3.2.4 Integração dos sistemas fotovoltaicos à instalação elétrica

De acordo com Zilles et al. (2016) existem dois conceitos que são utilizados para a instalação dos módulos fotovoltaicos em edifícios como ilustrados nas Figuras 8, 9:

- BAPV (*Building-Applied Photovoltaic System*): conceito onde o sistema fotovoltaico é aplicado em um edifício já existente não se importando com o design da construção, ou seja, sem um estudo da arquitetura do empreendimento. Em muitos casos são utilizados em *retrofit*, sobre a cobertura.



Figura 8: Sistema Fotovoltaico tipo BAPV

- BIPV (*Building-Integrated Photovoltaic System*): conceito que integra o sistema fotovoltaico a instalação, de modo que ele faça parte da arquitetura do empreendimento. Os mesmos seguem a orientação e inclinação de cobertura, fachadas e pérgolas.



Figura 9: Sistema Fotovoltaico tipo BIPV

3.2.5 Conexão com a Rede Elétrica

O sistema fotovoltaico pode ser empregado de duas maneiras: conectado *off-grid*, ou seja de forma independente, sendo responsável por toda geração da residência, ou *on-grid*, em paralelo com rede da concessionária. Nestas duas formas utiliza-se o termo SFVCR (Sistema Fotovoltaico conectado a rede elétrica) para conexão *on-grid* e SFVDR (Sistema Fotovoltaico desconectado da rede elétrica) para conexão *off-grid*, conforme pode ser detalhado a seguir:

- Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede Elétrica (SFVCR): este tipo de instalação dispensa o uso de banco de baterias, pois são conectados diretamente a rede elétrica, sendo uma opção de menos custo por suprimir a bateria e seus acessórios. Este sistema possui a vantagem de estar amparado pela rede elétrica da concessionária, pois em casos onde a incidência solar é menor a rede pública pode suprir a demanda, conforme mostrado na Figura 10.

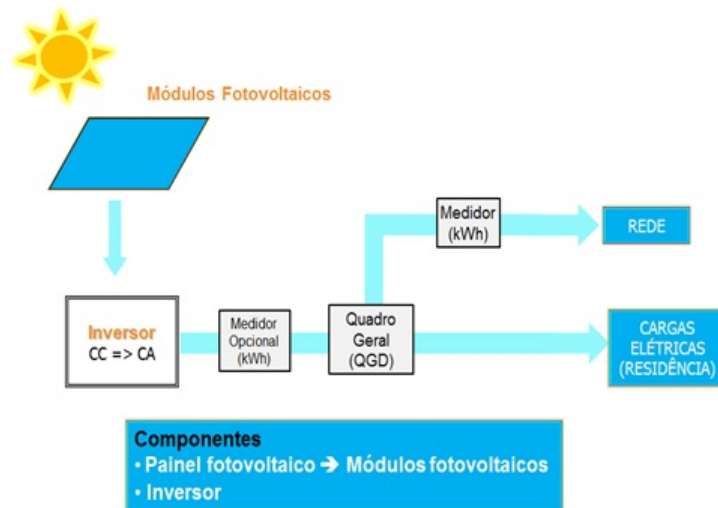


Figura 10: SFVCR

- Sistema Fotovoltaico Desconectado da Rede Elétrica (SFVDR): são sistemas em sua grande maioria localizados em locais que não possuem acesso a rede elétrica, ou são empregados em cargas especiais como carros, barcos, etc. Tais sistemas fazem o uso de acumuladores de carga, baterias, para suprir a falta de irradiação solar e possuem controladores de carga, o que diferem dos sistemas SFVCR. Na Figura 11 é apresentado o diagrama de blocos deste tipo de sistema.

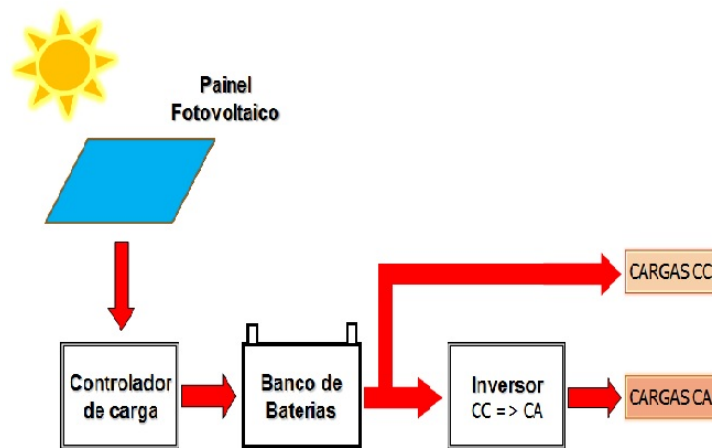


Figura 11: SFVDR

3.3 Medição

Sem dúvida a parte mais importante de todo o sistema de *smart grid* e gerenciamento energético, é a medição. Sem ela não se avalia o consumo, e não é possível monitorar e diagnosticar continuamente o desempenho de uma variável.

Smart metering ou medidor inteligente é um dos componentes principais de todo o sistema. Ele é o responsável pela maioria das tarefas em uma rede inteligente. Capaz de processar dados e enviar comandos para vários outros equipamentos, permitindo a integração de toda a cadeia de fornecimento. Além de medir o consumo em intervalos programados, o medidor inteligente se utiliza de uma combinação de tecnologias, como sensores, monitoramento em tempo real, notificação de falta de suprimento e monitoramento da qualidade da energia.

A capacidade dos medidores inteligentes para a comunicação bidirecional de dados permite coletar informações diversas da rede e do cliente, fazendo parte de um sistema que inclui a infraestrutura de comunicação e dispositivos de controle.

Medidores inteligentes podem se comunicar e executar comandos de controle remotamente, bem como localmente. Podem ser usados para monitorar e também para controlar os dispositivos de uma instalação, coletando informações de diagnóstico sobre a rede de distribuição, eletrodomésticos, e se comunicam com outros medidores em seu alcance. Eles medem o consumo de eletricidade a partir da rede, apoiam fontes de geração descentralizada e dispositivos de armazenamento de energia.

A medição inteligente de energia contribui efetivamente para solução de grande parte dos desafios que rodeiam a *smart grid*, sendo essencial na sua implantação (TOLEDO, 2012).

A partir da medição as concessionárias podem identificar clientes mais rentáveis para fornecer serviços de valor agregado com base nas fontes de geração distribuídas e no consumo geral de energia. Como esses serviços e outras técnicas de gerenciamento de demanda exigem das concessionárias grande quantidade de dados em tempo real, algo que força a mesma a trabalhar para que estes dados sejam transmitidos de forma segura. Os sistemas de controle no setor de distribuição garantem o monitoramento e o controle de falhas, dispositivos de comunicação como *gateways* de protocolo, coletores de dados e repetidores entre todos os dispositivos da rede de comunicação.

Atualmente os sistemas de medição já possuem soluções em *smart grids*, porém todos eles padecem da falta de padrões que definam a interoperabilidade, ou seja, a capacidade de diferentes fabricantes operarem na mesma rede, trocando informações entre si. Algo que se torna importante na escolha de um fabricante além de suas funções avançadas, é garantir que eles possam trocar informações na mesma camada física e nos mesmos protocolos de comunicação da camada lógica.

Depuru, Wang e Devabhaktuni (2011) trazem diversas opções de tecnologias de redes de comunicação para utilização dos medidores inteligentes, e levantam questões e observações quanto a rentabilidade das tecnologias de comunicação a serem escolhidas, a proporção de uma boa faixa de transmissão, características de segurança, largura de banda, qualidade de energia e o menor número possível de repetições.

3.4 Redes de Comunicação

Sauter e Lobashov (2011) dizem em seu estudo que as redes de comunicação adequadas para aplicações de gerenciamento de energia precisam fornecer serviços distintos e qualidade que estejam intimamente relacionados aos requisitos da aplicação e os distingam de outras redes, como por exemplo:

- Alta confiabilidade e disponibilidade;
- Gestão automática da redundância;
- Grande número de nós de comunicação;
- Segurança de comunicação.

Um sistema de comunicação para *smart grids* é exclusivamente utilizado em um ambiente baseado em IP (*Internet Protocol*), como uma intranet da empresa ou uma rede de área alargada, frequentemente baseada em redes de fibra óptica. A comunicação do sistema de baixo nível, tais como medidores de energia e equipamentos de controle precisam ser conectados por uma rede de campo apropriada, onde a interligação dos dois domínios de rede é realizada por elementos de rede, *Access Points* (APs). Embora a arquitetura de comunicação básica seja bastante direta, as topologias de rede reais podem ser muito diversas e dependem principalmente da rede de nível de campo. No que diz respeito aos requisitos de comunicação, são possíveis várias opções, Sauter e Lobashov (2011) demonstram as opções com seus prós e contras na Tabela 1.

Tabela 1: Tecnologias de Rede de Campo para Smart Grids, adaptado de (SAUTER; LOBASHOV, 2011)

Tecnologia	Prós	Contras
Linha dedicada	Independente Conexão permanente Grande banda.	Custo de instalação alto.
POTS ISDN GSM	Fácil manuseio Custo moderado 64 kbit/s (ISDN); 9,6 kbit/s (GSM)	Serviço depende de operador Nenhuma influência no caso da acessibilidade Sem conexão permanente.
GPRS	Fácil manuseio Custo moderado Conexão permanente.	Serviço depende de operador Nenhuma influência no caso da acessibilidade Necessita de segurança adicional. Banda limitada.
TETRA	Independente Alta disponibilidade Alta acessibilidade	Necessita de infraestrutura dedicada Limite de banda
WLAN WPAN	Independente Conexão permanente Componentes de baixo custo	Faixa muito limitada
Power Line	Independente Conexão permanente Alta acessibilidade	Maior esforço técnico

Atualmente, a relação de comunicação predominante em redes inteligentes é o cenário *multiclient/multiserver*, onde são necessários canais de comunicação entre os softwares (SCADA e *software* de medição) e o *hardware* de campo correspondente (sensores, equipamentos de comutação, medidores de energia). Em muitas instalações, os protocolos do *software* do sistema e *hardware* de campo, já existem como padrões que devem ser reutilizados. Portanto, a rede implementada deve ser capaz de lidar com várias aplicações e, respectivamente, protocolos de comunicação em paralelo. O ideal seria que a arquitetura de comunicação fosse aberta para permitir uma fácil integração de outros protocolos no futuro, uma abordagem comum defendida por muitos autores é usar o TCP/IP (geralmente baseado em IPv6 para lidar com o problema de limitação de espaço de endereço) como uma camada de rede consistente, a fim de alcançar a comunicação de ponta a ponta.

3.4.1 Protocolo Modbus

De acordo com Protocol (1996), o protocolo Modbus foi desenvolvido inicialmente pela Modicon em 1979, sendo hoje um padrão aberto, mantido pela Organização Modbus, tendo sido implementado por centenas de fabricantes em milhares de equipamentos. A Schneider Electric, atual controladora da Modicon, transferiu os direitos do protocolo para a Organização Modbus em abril de 2004, firmando o compromisso de manter o protocolo

aberto.

O protocolo Modbus é baseado em mensagens de comando e resposta, posicionado no nível 7 do modelo OSI (camada de aplicação), que possibilita a comunicação cliente/servidor entre equipamentos conectados a diferentes tipos de redes, oferecendo serviços com funções definidas por um código de oito bits. O protocolo pode ser utilizado em diferentes modos, através de variações definidas pela norma para melhor adaptá-lo a diferentes meios físicos (Serial, *Ethernet TCP/IP*, RAS, etc.):

- Modo RTU: Modo padrão para uso em comunicação serial que inclui CRC (*Cyclic Redundancy Check*) de 16 bits;
- Modo ASCII: Também usado em comunicação serial, é utilizado em equipamentos mais simples, que não suportam os requisitos do modo RTU. Utiliza caracteres ASCII para transmissão, onde cada *byte* contém dois caracteres ASCII (um por *nibble*), sendo por isto menos eficiente que o modo RTU e mais raramente encontrado no mercado. Usa LRC (*Longitudinal Redundancy Checking*) para a verificação de erros;
- Modo Modbus TCP: Usado para comunicação em TCP/IP, inclui campo para verificação de transação e não possui sistema de verificação de erros. O campo de transação permite descartar respostas atrasadas, evitando assim que o *driver* assumisse como resposta válida para o comando atual os frames de resposta a comandos anteriores. Esta situação pode ocorrer se os modos anteriores forem encapsulados em TCP/IP.

O protocolo Modbus define uma unidade de dados simples denominada PDU (*Protocol Data Unit*), que se mantém inalterada nos diversos modos do protocolo e nas diversas camadas de comunicação. O *frame* de comunicação que inclui a PDU e os demais campos adicionais de cabeçalho, é chamado ADU (*Application Data Unit*), apresentado na Figura 12.

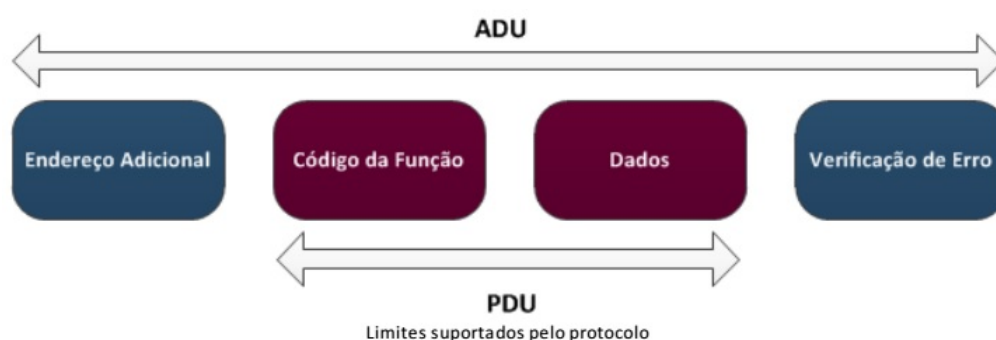


Figura 12: Frame Modbus (PROTOCOL, 1996)

4 ERP - *Enterprise Resource Production*

Dentro de uma organização é necessário que todas as unidades ou departamentos trabalhem em conjunto para atingir seus objetivos. Essa visão integrada da gestão exige que cada unidade não apenas funcione eficientemente, mas também que compreenda como suas atividades e decisões afetam as funções de outras unidades. Por outro lado, os sistemas de informação mais antigos foram desenvolvidos focando nas unidades de negócios correspondentes, o que criavam ilhas de informações na organização dificultando o compartilhamento de informações. Para suportar uma abordagem de gerenciamento integrado, o ERP foi proposto como uma solução.

O sistema tem como objetivo comum integrar todos os departamentos e funções de toda a empresa em um único sistema informatizado que possa atender a todas as necessidades dos diferentes departamentos. De acordo com [Nawaz e Channakeshavalu \(2013\)](#), muitos são os benefícios da implementação do sistema, como:

- Integração e automatização da maioria dos processos de negócios;
- Compartilhamento de informações da empresa em tempo real, melhorando assim o atendimento ao cliente;
- Fornecer ferramentas de *Business Intelligence* (BI) como sistemas de suporte à decisões, sistema de informação executiva, relatórios, mineração de dados, sistemas de alerta precoce, possibilitando as pessoas a tomarem melhores decisões e melhorar os processos de negócios.

O ERP combina todos eles em um software único e integrado que se utiliza de um único banco de dados para que os vários departamentos possam mais facilmente compartilhar informações e comunicar uns com os outros. A Figura 13 apresenta um modelo de integração de diversos sistemas utilizando o ERP.

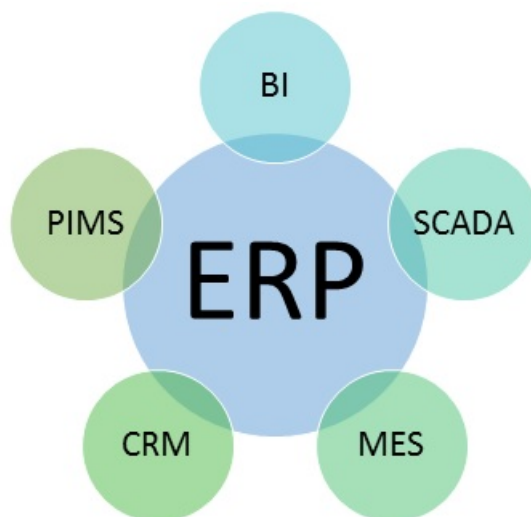


Figura 13: Integração do sistema ERP

Nas seções seguintes serão detalhadas os componentes do ERP.

4.1 SCADA - *Supervisory Control and Data Aquisition*

“Os sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente, apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*)” (SALVADOR; SILVA, 2005).

O sistema SCADA, de acordo com Albuquerque e ALEXANDRIA (2009), é responsável pela coleta e transferência de informações lógicas e analógicas sobre o estado do sistema, por sua exibição na sala de controle e pelo comando remoto de dispositivos. O SCADA coleta as informações de processo através de uma RTU (*Remote Terminal Unit*), transferindo-o de volta para o sistema central, realizando a análise necessária e o controle, em seguida apresenta a informação sobre uma série de telas para a operação. São algumas vantagens do uso do SCADA:

- Capaz de controlar processos complexos;
- Acessar a medição quantitativa de processos importantes em tempo real;
- Detectar e corrigir erros rapidamente;
- Facilitar o processo de avaliação de desempenho para aumentar a eficiência e redução de custos.

De acordo com Musarra (2013), o software oferece uma integração entre a comunicação, modelagem e análise, possibilitando sua aplicação em centros de operação para geração, transmissão e distribuição. Além disso, ele permite o acesso a diversas informações que são necessárias para a operação de redes de energia, aumentando o custo-benefício e principalmente a confiabilidade do sistema.

Neste trabalho, utilizou-se o supervisor Elipse Power. O Elipse Power é considerado uma solução para a implementação do conceito de *smart grids*, pois possibilita que ações ligadas à segurança e à eficiência operativa da rede sejam rapidamente identificadas, por meio da aquisição de dados em tempo real, ferramentas de análise, relatórios de gestão e integração com sistemas corporativos.

4.1.1 Elipse Power

O Elipse Power é uma ferramenta de desenvolvimento de aplicações de supervisão, controle e análise de sistemas de energia elétrica, que reúne ferramentas para apoio, simulações e operações dos sistemas elétricos com a estrutura de um software SCADA tradicional (Figura 14), promovendo a interação entre a monitoração e controle do sistema de rejeição de cargas (MUSARRA, 2013).

A estrutura SCADA permite recursos para a supervisão e o controle voltados à operação da rede distribuída através de um modelo de objetos e uma interface gráfica, além de uma arquitetura que permite o desenvolvimento de aplicações e conectividade com dispositivos eletrônicos inteligentes através de padrões *Ethernet TCP/IP* ou *UDP/IP*. Além disso, o software troca informações com equipamentos através de módulos (*drivers* de comunicação) que implementam o protocolo IEC61850 (MACKIEWICZ, 2006).

Os módulos e subsistemas do Elipse Power são executados a partir de um modelo elétrico que representa o diagrama unifilar da subestação e de todas as suas informações elétricas. Todos os equipamentos de campo são modelados através de objetos típicos do software, representando de forma fiel a estrutura do sistema. Esta modelagem permite a estruturação do sistema, visando sua padronização, e mantendo assim sua estrutura hierárquica, além de manter todas as informações referentes a cada equipamento.

Baseado na modelagem elétrica, o Elipse Power executa módulos matemáticos de apoio à operação do sistema. Estes módulos interagem, em tempo real, diretamente com a aplicação SCADA, buscando informações do cenário atual e retornando o resultado de cada um destes módulos de análise elétrica.

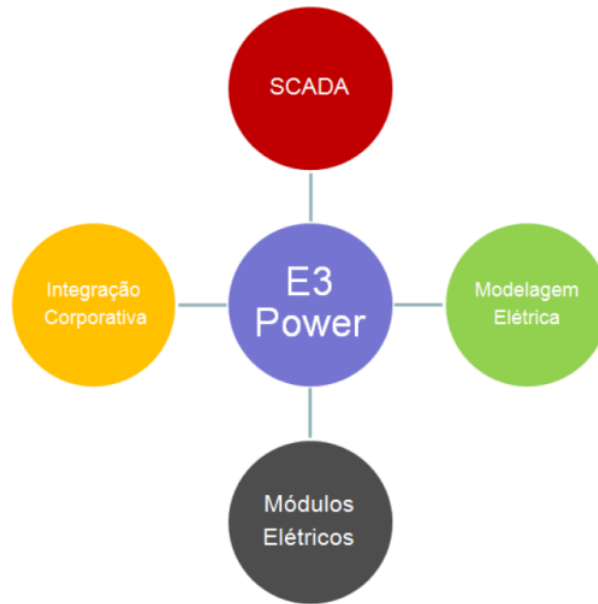


Figura 14: Elipse Power (MUSARRA, 2013)

4.2 MES - *Manufacturing Execution System*

O sistema MES baseia-se exatamente na preocupação com a gestão do processo industrial e sua eficiência, confiabilidade, qualidade e rastreabilidade. De acordo com Schumann (1999), seu objetivo é reunir informações estruturadas em todas as diferentes áreas de trabalho e disponibilizar essas informações aos outros participantes dos processos de negócios. O sistema MES possui um conjunto de funções que armazenam e classificam estas informações em domínios operacionais como por exemplo:

- Gestão de material;
- Programação da produção;
- Gerenciamento de ordens de processos;
- Gestão de laboratório;
- Gravação eletrônica por lotes.

De acordo com Souza (2005), uma das maiores dificuldades da implantação deste sistema era a ausência de um modelo. Mas, no final do ano de 1998, a AMR (*American Manufacturing Research*), em conjunto com a MESA (*MES Association*), definiram o modelo REPAC, que permite dividir e organizar as funções de um sistema MES. Este modelo divide a planta do sistema em cinco atividades: *Ready, Execute, Process, Analyse e Coordinate*.

O padrão ISA (2010) define a terminologia e modelos que são usados para integrar o MES no nível de negócios com sistemas de automação no nível de produção. A primeira parte contém a terminologia básica e os modelos para compensar interfaces entre processos de negócios e sistemas de gerenciamento da produção. A segunda parte, juntamente com a primeira parte, fornece o conteúdo da interface entre as funções de controle na produção e gerenciamento da empresa. Na terceira parte, são fornecidos os detalhes das principais atividades de produção, manutenção, armazenagem e atividades de controle de qualidade.

Em seu estudo de caso Mahmoud et al. (2015) lista todos os benefícios que a implantação do sistema trouxe para a organização como: integração, gerenciamento de recursos, controle de documentos e produtos, metodologia eficaz para um fácil acesso em tempo real aos dados. E por outro lado, Telukdarie (2016) mostra em sua pesquisa a importância da escolha e implantação de um sistema MES, analisando sua posição dentro da pirâmide de automação.

4.3 PIMS - *Plant Information Management System*

O PIMS é um sistema capaz de centralizar informações oriundas de diversas bases da planta em um único banco de dados, com alta capacidade de armazenamento, e disponibilizá-las a diferentes níveis de usuários conforme suas necessidades em aplicações de alto desempenho, seja de monitoramento ou análise do processo. O sistema faz parte da cadeia ERP e MES possuindo as seguintes características:

- Coleta de dados de diversos pontos da planta;
- Compressão dos dados;
- Alta capacidade de armazenamento;
- Alta velocidade de consulta aos dados;
- Utilização de ferramentas clientes;
- Dados em tempo real.

Com todas essas características o PIMS contorna a dificuldade que as empresas têm de fragmentação dos dados por diversas ilhas espalhadas pelo chão de fábrica, e condensa os mesmos em um único local, capaz de agilizar o processo e obter relações e análises avançadas entre os mesmos, o que se torna um diferencial para a empresa.

A infraestrutura do PIMS apresentada na Figura 15 começa pelo servidor principal, onde todos os dados são centralizados, servidor de comunicação responsável pela

comunicação com toda a planta através dos protocolos de comunicação de cada sistema, e estações clientes que são softwares clientes do PIMS, utilizados para o acesso e visualização dos dados.

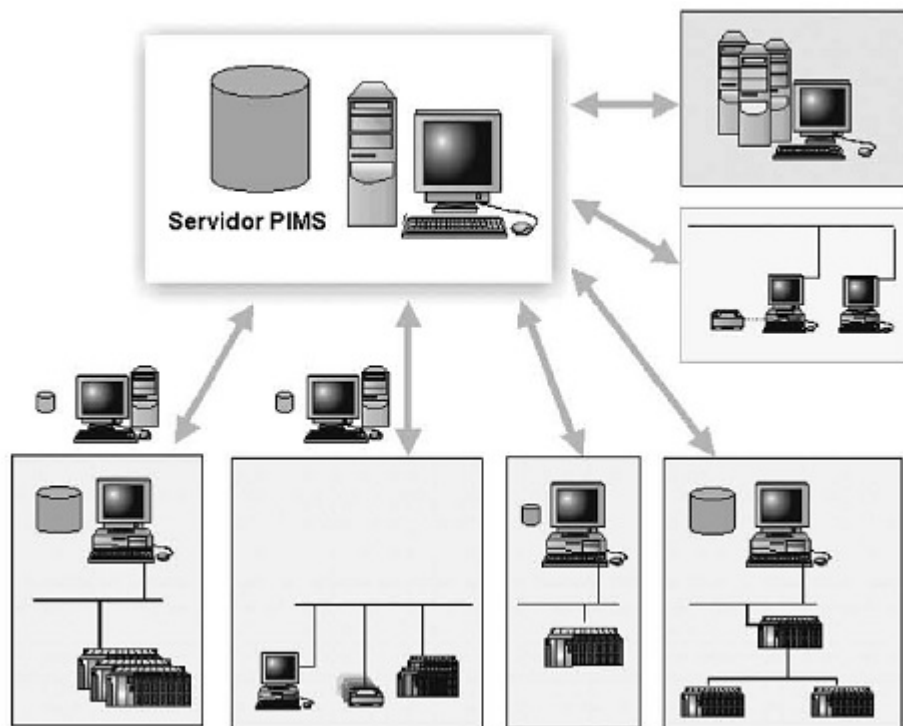


Figura 15: Arquitetura PIMS (CARVALHO; FONSECA; FILHO, 2003)

4.3.1 PI System

Ao longo das últimas décadas, as indústrias passaram dos controles analógicos e pneumáticos para os sistemas digitalizados PLCs, DCS e SCADA. Tais tecnologias forneceram um volume cada vez maior de dados para monitorar, otimizar e controlar os processos industriais. A tecnologia de hoje oferece às empresas uma capacidade sem precedentes para alavancar dados e para desenvolver inteligência dando suporte à decisão, tanto em tempo real como ao longo do tempo. As empresas que adotam uma estratégia tecnológica para alinhar as operações centrais com os objetivos globais da empresa podem gerar informações baseadas em dados para serem mais ágeis, resistentes e inovadoras, reduzindo em última análise os custos e os riscos.

A empresa americana OSIsoft Inc. criou o PI System para capturar e armazenar dados em tempo real com base em sensores. Por mais de 30 anos, a OSIsoft forneceu o Sistema PI com o objetivo singular de conectar pessoas, ativos e processos através de dados.

O software PI System é um diferencial para sistemas supervisórios, trabalhando com sua capacidade de coletar, analisar, visualizar e compartilhar grandes quantidades

de dados de alta fidelidade e séries temporais de várias fontes para pessoas e sistemas em todas as operações (OSISOFT, 2016). O sistema possui as seguintes características:

- Conecta-se a mais de 450 interfaces coletando dados de alta frequência de vários formatos, padrões ou convenções – tanto de séries temporais quanto de eventos – a partir de múltiplos sistemas ou fontes;
- Traduz dados em uma estrutura uniforme para combinar, comparar, contextualizar e alavancar informações;
- Captura dados de alta qualidade e alta fidelidade que sejam precisos e completos. Nenhum dado é perdido pela média dos dados ou pela amostragem intervalada;
- Passa da tomada de decisão reativa à proativa com acesso em tempo real e visualização de dados;
- Implanta uma infra-estrutura aberta escalonável que ofereça suporte a uma implantação inicial de pequenos ativos e que se expande facilmente para futuras implantações corporativas.

O PI System é formado por outros softwares que se completam formando o *Visualization, Integrator, Cloud Service, System Access*:

- PI Server™
- Data Archive
- Asset Framework (AF)
- Notifications
- PI Coresight™
- PI ProcessBook™

Na Figura 16 é mostrado o sistema PI e como os softwares adicionais se interagem entre si desde a coleta de dados até a visualização.

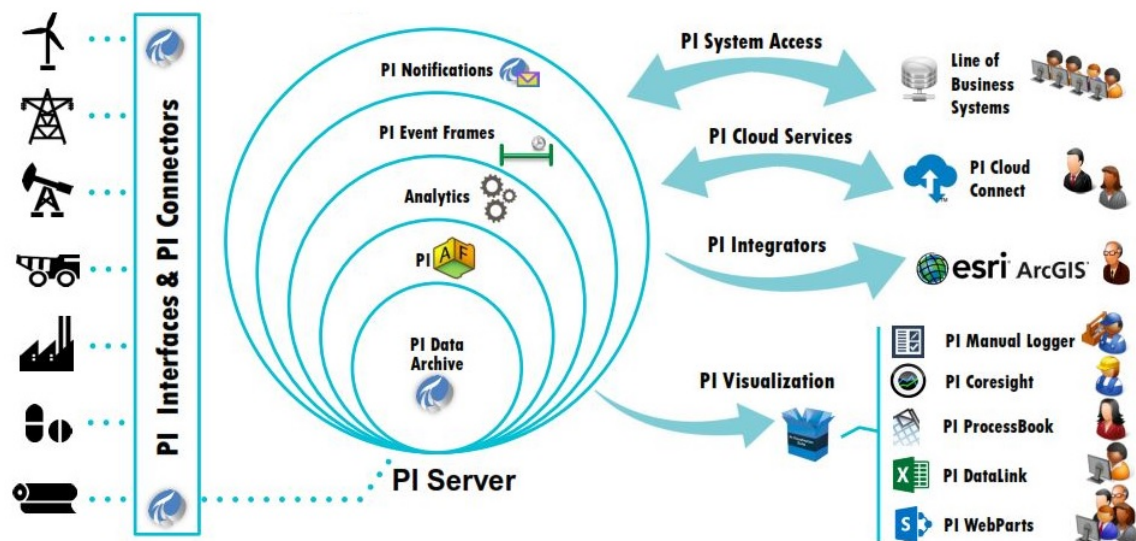


Figura 16: PI System (OSISOFT, 2016)

Os dados podem ser coletados automaticamente de várias fontes (sistemas de controle, equipamentos de laboratório, cálculos, entrada manual ou software personalizado). A maioria das informações é coletada usando um dos softwares da OSIsoft através de Interfaces PI. A Figura 17 mostra uma configuração típica do sistema PI.

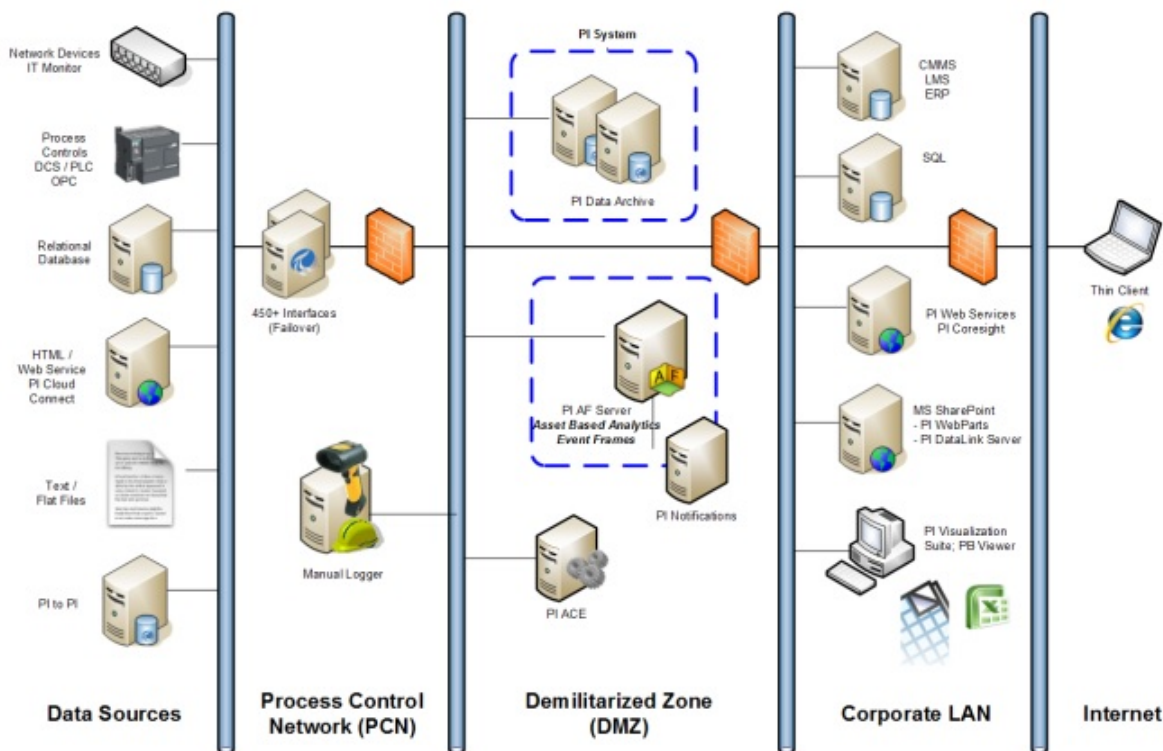


Figura 17: PI System Arquitetura (OSISOFT, 2016)

Os usuários podem acessar essas informações usando um conjunto de ferramentas de uso comum, como Microsoft Excel, navegador Web, PI ProcessBook ou PI Coresight (Figura 18) e procurar correlações entre os dados, como por exemplo:

- Análise de tendências;
- Demandas;
- Comparação de desempenho.

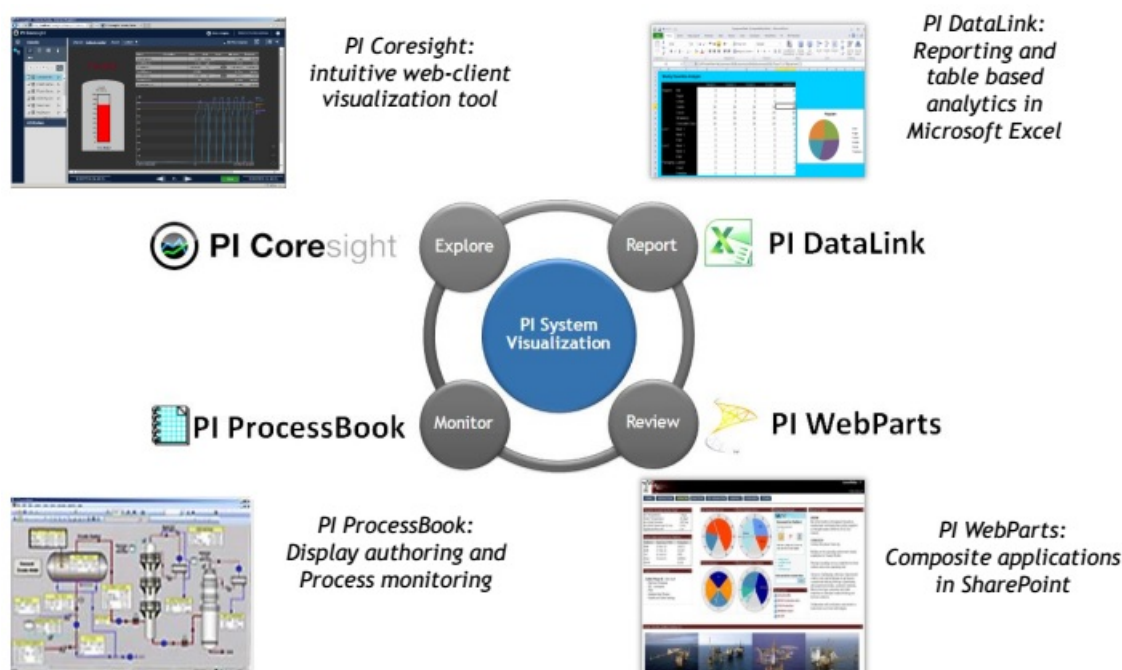


Figura 18: PI System Visualize (OSISOFT, 2016)

4.4 BI - Business Intelligence

Business Intelligence representa uma grande área de aplicações e tecnologias de armazenamento, análises e acesso à informação para melhorar a qualidade no processo de modelagem do negócio.

Botelho e Filho (2014) realizam em seu artigo uma junção teórica dos artigos estudados sobre BI, que define com clareza a identificação e os objetivos do sistema: "BI é o conjunto de aplicativos, ferramentas e metodologias usadas para coleta, tratamento, armazenamento, recuperação e disseminação de informações com o objetivo de auxiliar o processo de tomada de decisões organizacionais complexas". Para Nedelcu et al. (2013) a BI é um agrupamento de cinco áreas: *Data Mining and Advanced Analysis, Visual, Enterprise Reporting, Dashboards and Scorecards e Mobile Apps and Alerts*.

Portanto, a BI é baseada em um conjunto de conceitos e tecnologias que cooperam para ajudar as empresas e suas decisões. Atualmente, tudo é baseado em informações, as empresas conseguem dados que não podem mais ser armazenados pelos sistemas de banco de dados clássicos. Pesquisas em inteligência de negócios revelam que armazenar, analisar e explorar dados de organizações pode fornecer informações preciosas para uma empresa, como previsões, padrões ou relatórios complexos.

4.4.1 Power BI

O Power BI é um aplicativo da Microsoft que engloba um conjunto de ferramentas do Excel (Power View, Power Query e Power Pivot) e conectores em um único aplicativo BI para trabalhar com dados, realizando análises de negócios e compartilhar informações em tempo real. Onde diversas fontes de dados *online* ou *offline* são consolidadas em uma única plataforma apresentada na Figura 19.

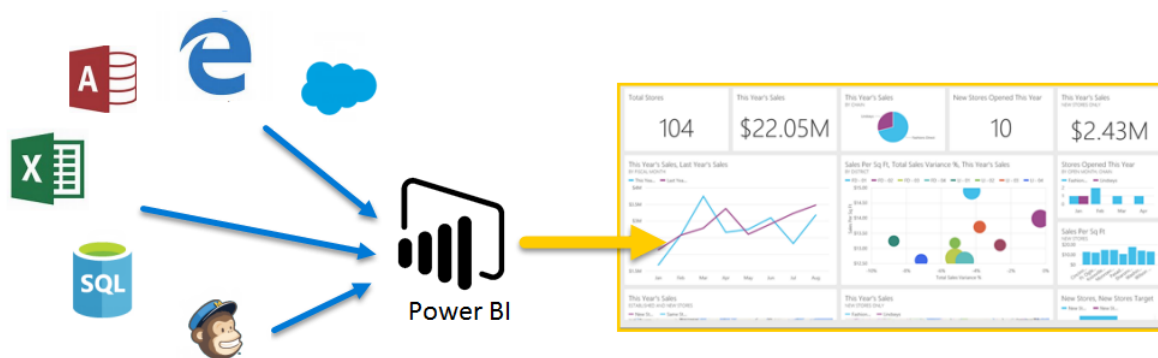


Figura 19: Power BI (LACHEV; PRICE, 2015)

As funcionalidades do Power BI trabalham com painéis avançados (*dashboard*) e configuráveis para geração de relatórios importantes, que apoiam a tomada de decisão embasadas em dados e não na tentativa e erro. O Power BI possui a versão *desktop*, *service* e *mobile* para acesso em qualquer dispositivo ao serviço online, onde as *dashboards* são publicadas, conforme a Figura 20.

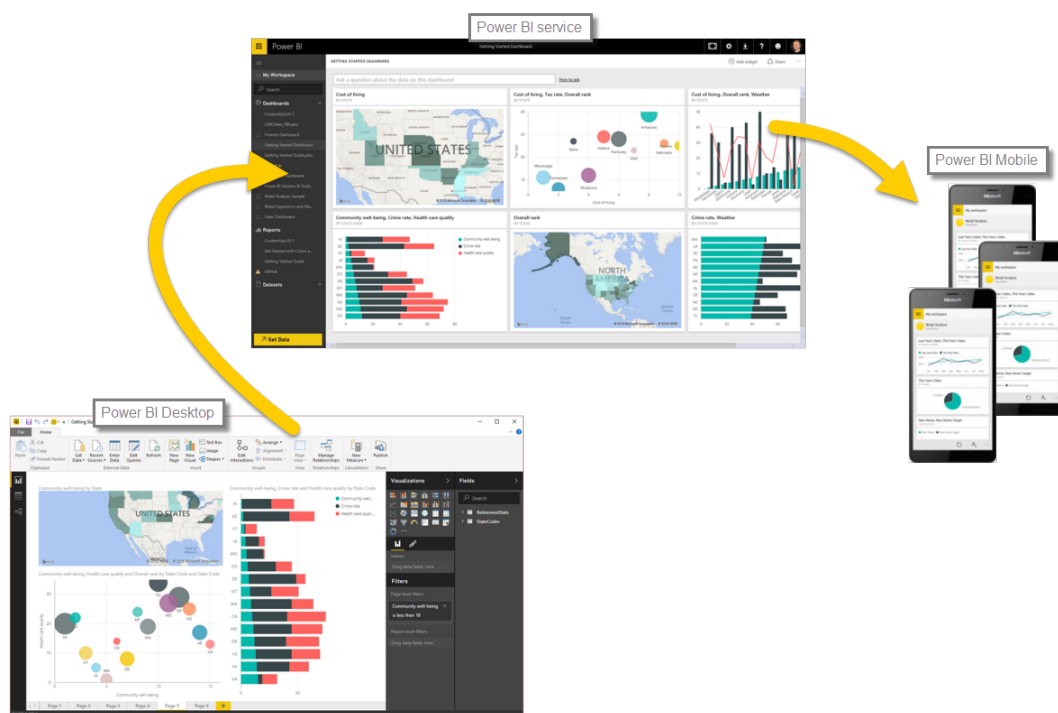


Figura 20: Power BI Services (LACHEV; PRICE, 2015)

De acordo com a Figura 20, normalmente o fluxo de trabalho no Power BI segue:

- Inserção de dados no Power BI Desktop e a criação de um relatório;
- Publicação no serviço do Power BI, criando novas visualizações ou *dashboards*;
- Compartilhamento dos *dashboards* com outras pessoas;
- Exibição e interação com relatórios e *dashboards* compartilhados nos aplicativos Power BI Mobile.

Parte III

Desenvolvimento

5 Instalação do câmpus

A Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Figura 21, fundada em 23 de novembro de 1913, conta hoje com 46 cursos nas mais diversas áreas do conhecimento, sendo 25 cursos de graduação e 21 cursos de pós-graduação, com mais de 5000 alunos matriculados em seu câmpus na cidade de Itajubá - MG.

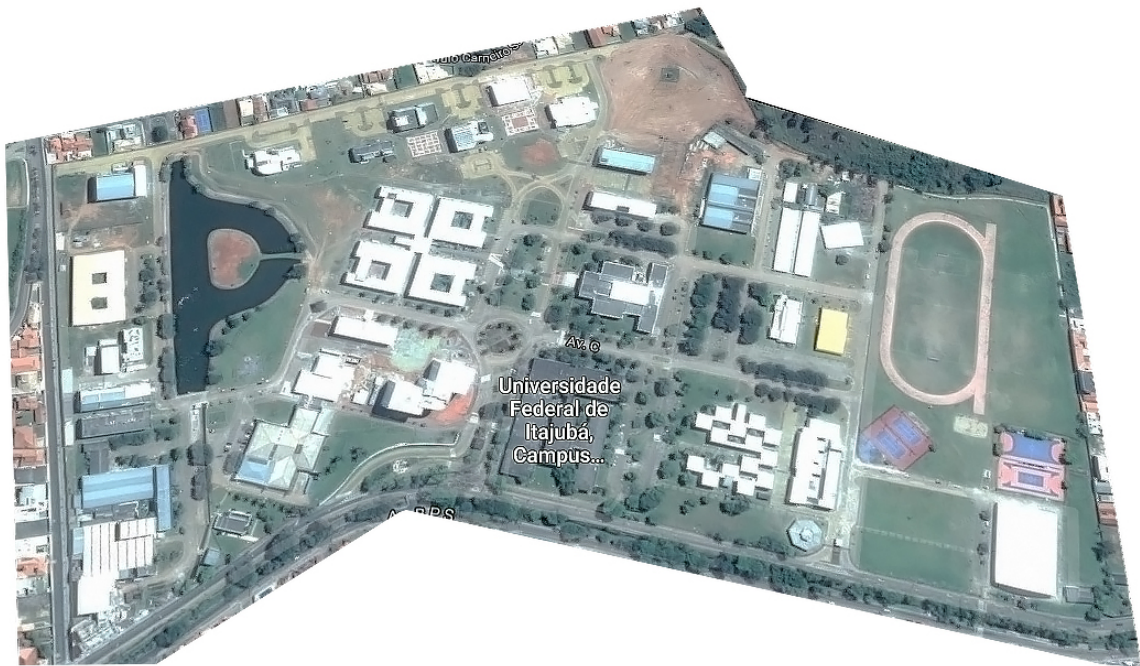


Figura 21: Universidade Federal de Itajubá - câmpus José Rodrigues Seabra

Tabela 2: câmpus José Rodrigues Seabra

câmpus Itajubá	
Área	372.518,65 m ²
Área Construída	107.284,12 m ²
Blocos	13
Prédios	47

O sistema integrado de gestão energética do câmpus proposto neste trabalho conta com uma aplicação SCADA através do software Elipse Power, um sistema PIMS com o software PI System e o software Power BI aplicado na camada ERP.

5.1 Sistema Elétrico

Atualmente o câmpus José Seabra está inserido na modalidade tarifária THS Verde A4 e possui uma demanda contratada de 800 kW. A alimentação do câmpus é realizada em média tensão de 13,8kV, e distribuída internamente por cinco alimentadores, onde cada alimentador é responsável por uma parte do sistema elétrico dentro do câmpus conforme ilustrado na Figura 22.

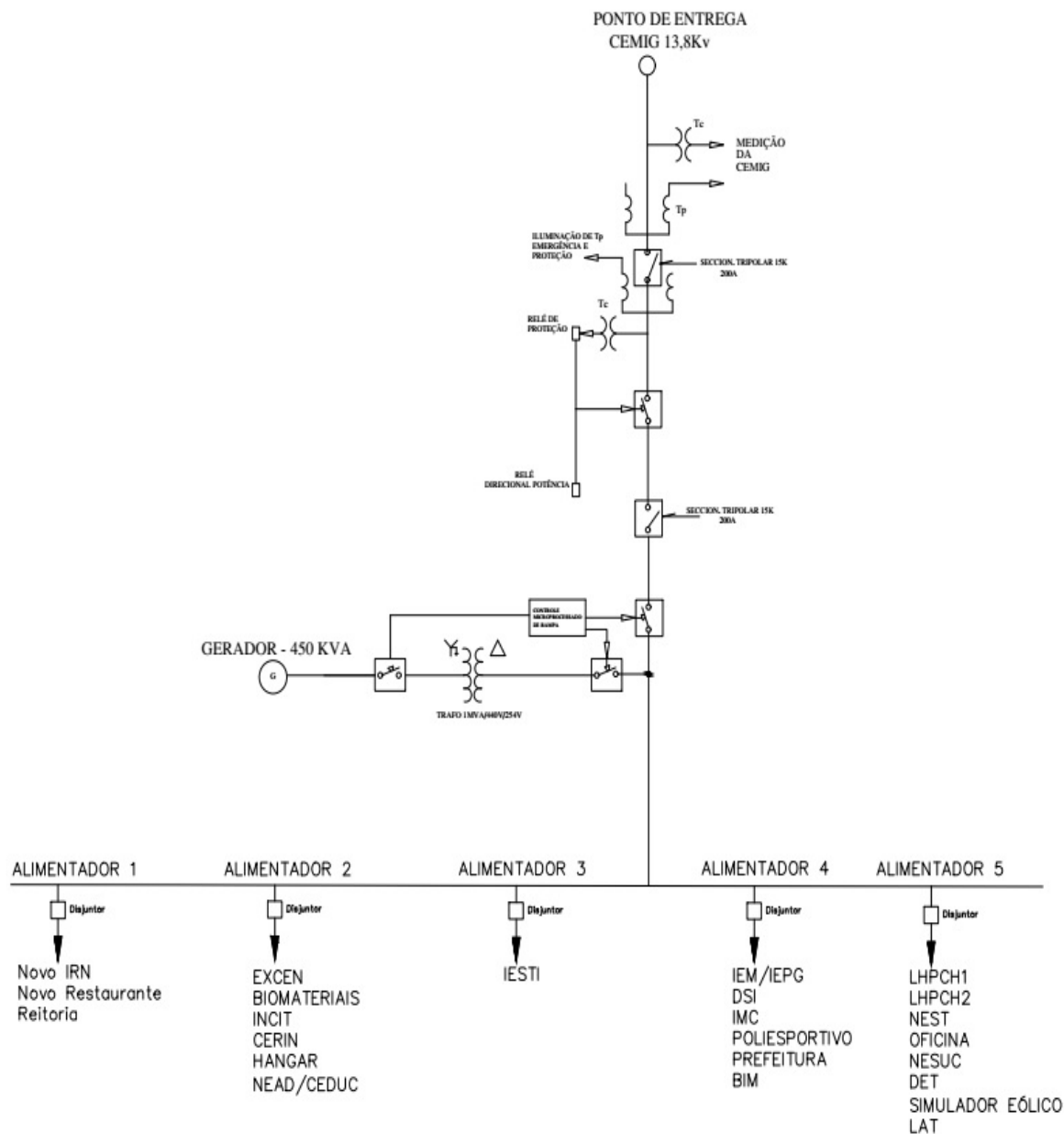


Figura 22: Diagrama Unifilar - UNIFEI

O sistema elétrico do câmpus possui além de suas cargas, mini gerações espalhadas pelo câmpus. Neste trabalho será utilizado para o estudo as gerações fotovoltaicas localizadas no prédio do CERIn (Centro de Excelência em Redes Elétricas Inteligentes) e EXCEN (Centro de Excelência em Eficiência Energética), mostrados na Figura 23.



(a) Prédio CERIn



(b) Prédio EXCEN

Figura 23: Prédios analisados

5.2 Sistema Fotovoltaico

Atualmente, o câmpus possui quatro usinas fotovoltaicas em operação, sendo uma no laboratório do EXCEN e três no prédio do CERIn. As características dessas usinas podem ser visualizadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Usina Fotovoltaica EXCEN

EXCEN	
Módulo	Policristalino
Potência Total	860,40 W
Inversor	Fronius Galvo 1.5-1
Potência	1,5 kW

O sistema fotovoltaico do laboratório do EXCEN (Figura 25) detém 12 módulos fotovoltaicos, configurados em 3 "strings" de 4 módulos, gerando uma potência de pico de 860,40 W, e um inversor Fronius Galvo de 1,5 kW (Figura 24).



Figura 24: Inversor Fronius Galvo 1.5-1

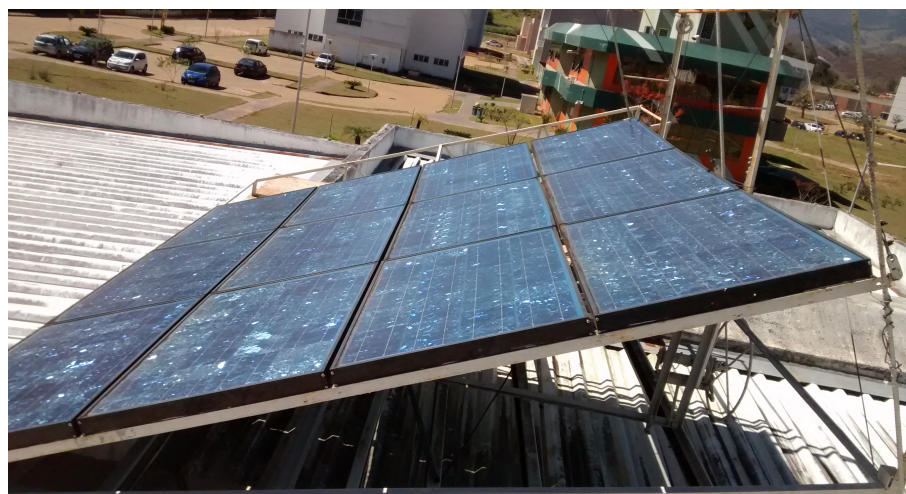


Figura 25: Usina Fotovoltaica EXCEN

O sistema fotovoltaico do prédio do CERIn foi implantado em junho de 2016, possui a potência instalada de 27 kWp divididos em três inversores, com uma área total de aproximadamente 120 m^2 e capacidade final de geração do sistema de aproximadamente 1500 kWh/mês. Na Figura 27 visualiza-se parte da usina instalada no telhado do prédio e na Figura 26 o inversor utilizado.

Tabela 4: Usina Fotovoltaica CERIn

CERIn	
Módulo	Policristalino
Potência Total	27 kWp
Inversor	Fronius Symo 12.5-3-M, 2xIG Plus 100 V-3



Figura 26: Inversor Fronius IG Plus 100 V-3



Figura 27: Usina Fotovoltaica CERIn

5.3 Medidores

Os medidores instalados no câmpus José Rodrigues Seabra são do fabricante CCK Automação, do modelo 4400M (Figura 28). Possuem comunicação de dados RS-485 através do protocolo Modbus, memória de massa para 35 dias, e realizam a medição das grandezas: Potência Ativa (W), Energia (Wh), Potência Reativa (VAR), Tensão (V), Corrente (I), Fator de Potência (FP).



Figura 28: Medidor CCK 4400M

Acoplados a estes medidores está um conversor de comunicação do padrão serial RS-485 para o padrão *Ethernet*, conversor CCK 7010 (Figuras 29 e 30), com velocidade de comunicação 10/100Mbps e protocolo de comunicação TCP/IP.



Figura 29: Conversor CCK



Figura 30: Medidor UNIFEI

5.3.1 Endereçamento dos medidores

Estão instalados no câmpus dezoito medidores de energia, todos endereçados com seus respectivos números (ID) e nomes de acordo com sua localização, conforme a Tabela 5:

Tabela 5: Endereços dos medidores instalados no câmpus

ID	TAGNAME
1	SE-PRINCIPAL
33	IESTI-BLOCO ₂
34	IESTI-BLOCO ₁
35	SEPARACAO DE FASES
36	SEPARACAO DE FASES
38	EXCEN
39	BIOMATERIAIS
41	LAB ELETRICA
42	ICE
44	LHPCH-1
45	LHPCH-2
46	DSI
47	EAD
48	PREFEITURA
49	BLOCO-9
54	LAT
55	CERIN

Cada medidor comunica-se com o sistema supervisorío proprietário da empresa CCK através de seu IP, conforme demonstrado na Figura 31:

Reg.	Equip.	RTU	Serial/IP:Porta	Vel.(bps)	Versão	Data	Hora	TX/RX	Comunicação
M001	CCK6700	000	200.131.134.086:5003	9600	????????	??/??/????	??:??:??	130	Erro TX timeout conexão TCP/IP
035	CCK440M	035	200.131.131.168:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:07:57	449	OK
036	CCK440M	036	200.131.137.104:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:01	185	OK
037	CCK440M	037	200.131.137.104:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:36	187	OK
038	CCK440M	038	200.235.076.055:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:03	817	OK
039	CCK440M	039	200.235.077.253:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:00	777	OK
041	CCK440M	041	200.131.142.209:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:13	394	OK
042	CCK440M	042	200.235.072.255:5003	9600	????????	??/??/????	??:??:??	720	Erro TX timeout conexão TCP/IP
043	CCK440M	043	200.235.072.255:5003	9600	????????	??/??/????	??:??:??	720	Erro TX timeout conexão TCP/IP
044	CCK440M	044	200.131.145.228:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:07:59	172	OK
045	CCK440M	045	200.131.145.228:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:05	172	OK
046	CCK440M	046	200.131.129.017:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:05	287	OK
048	CCK440M	048	200.131.131.173:5003	9600	????????	??/??/????	??:??:??	019	Erro TX timeout conexão TCP/IP
049	CCK440M	049	200.131.137.164:5003	9600	VER02.00	24/03/2017	13:08:06	409	OK
050	CCK440M	050	200.235.072.253:5003	9600	VER09.04	24/03/2017	13:08:08	312	OK
054	CCK440M	054	200.235.077.002:5003	9600	VER08.00	24/03/2017	13:08:13	866	OK

Estado da Conexão (Modem): Não existem conexões configuradas. 16 (16)

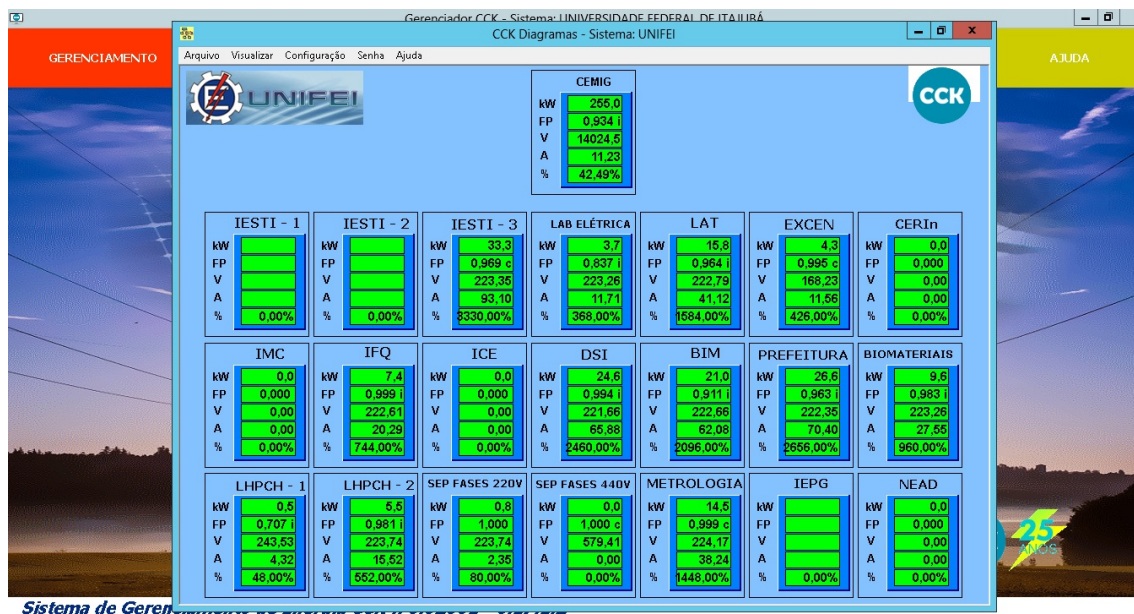
Contadores das Mensagens de Rede (Mestre)

Sincronismo: 6 Estado Demanda/Fator de Potência: 3357

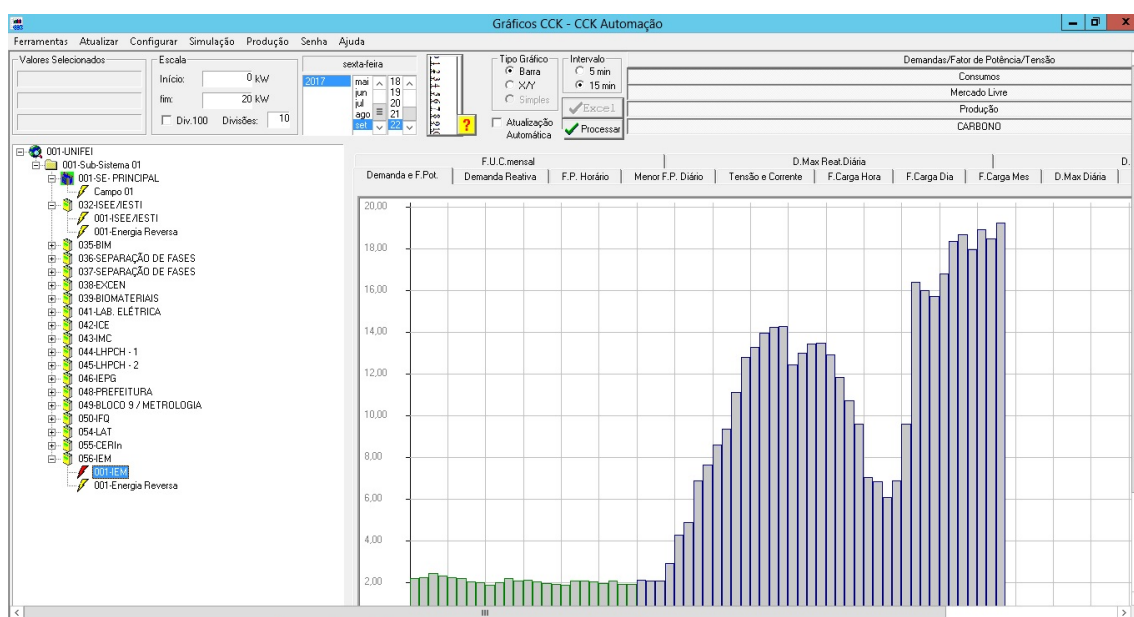
Legenda: TX (Green), RX (Yellow), Erro (Red), Idem Mestre (Green with M)

Figura 31: Endereços IPs dos medidores instalados no câmpus

O sistema supervisorío (Software SW CCK PC 6000) da empresa CCK apresentado na Figura 32 emite relatórios e gráficos analíticos de utilização da energia elétrica, dados como medição global de energia, controle de demanda, consumo, fator de potência e qualidade de energia podem ser acessados com a finalidade de realizar o rateio ou a verificação dos índices de qualidade da energia.



(a) Tela de supervisão



(b) Tela de gráficos

Figura 32: Supervisório CCK

Porém, através do sistema não é possível inserir análises e correlacionar dados com outros sistemas na mesma aplicação, ficando dependente de outros equipamentos da empresa para esta finalidade.

Em cada medidor é possível ter acesso a diversas grandezas como por exemplo: tensão, corrente, fator de potência, potência ativa, potência reativa, etc. A Tabela 6 demonstra algumas dessas grandezas e qual o número respectivo da memória responsável por realizar a leitura. As memórias podem ser lidas em dados inteiros ou *float* com 16 bits, representados pela letra “ f ”.

Tabela 6: Principais Grandezas Medidas

N DE MEMÓRIA	GRANDEZAS
6	01-CEMIG-Hora-hh
7	01-CEMIG-Hora-mm
8	01-CEMIG-Hora-ss
14	01-CEMIG-Estado-Dem
15	01-CEMIG-Estado-FP
16f	01-CEMIG-kW
18f	01-CEMIG-kVAr
20f	01-CEMIG-FP
22f	01-CEMIG-U1-V
24f	01-CEMIG-U2-V
26f	01-CEMIG-U3-V
28	01-CEMIG-UT-V
30	01-CEMIG-I1-A
32	01-CEMIG-I2-A
34	01-CEMIG-I3-A
36	01-CEMIG-IT-A

5.3.2 Driver de Comunicação Elipse Power

A comunicação dos medidores da CCK com software Elipse Power é realizada através do *driver Modbus*, onde é configurado o IP do servidor de dados da CCK, lugar que são concentrados todos os dados dos medidores. Através de uma interface do próprio fabricante, Figura 33, é realizada uma camada de comunicação entre o Elipse e o servidor de dados. Desta forma o fabricante impede que seja realizada uma comunicação direta Elipse-Medidor.

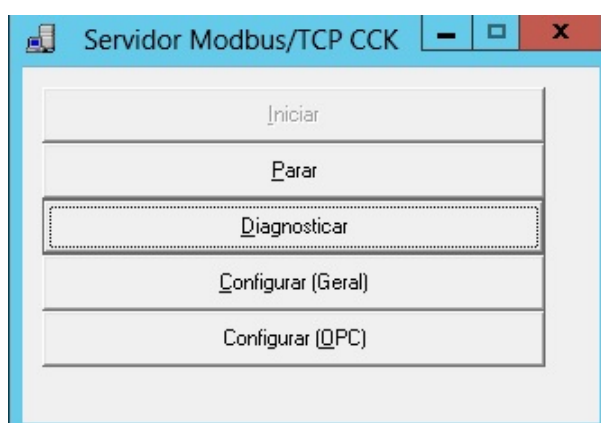


Figura 33: Servidor Modbus CCK

A configuração do *driver* recebe o IP do servidor de dados CCK, e para cada medidor é endereçado um número de Identificação (ID) conforme a Figura 34.

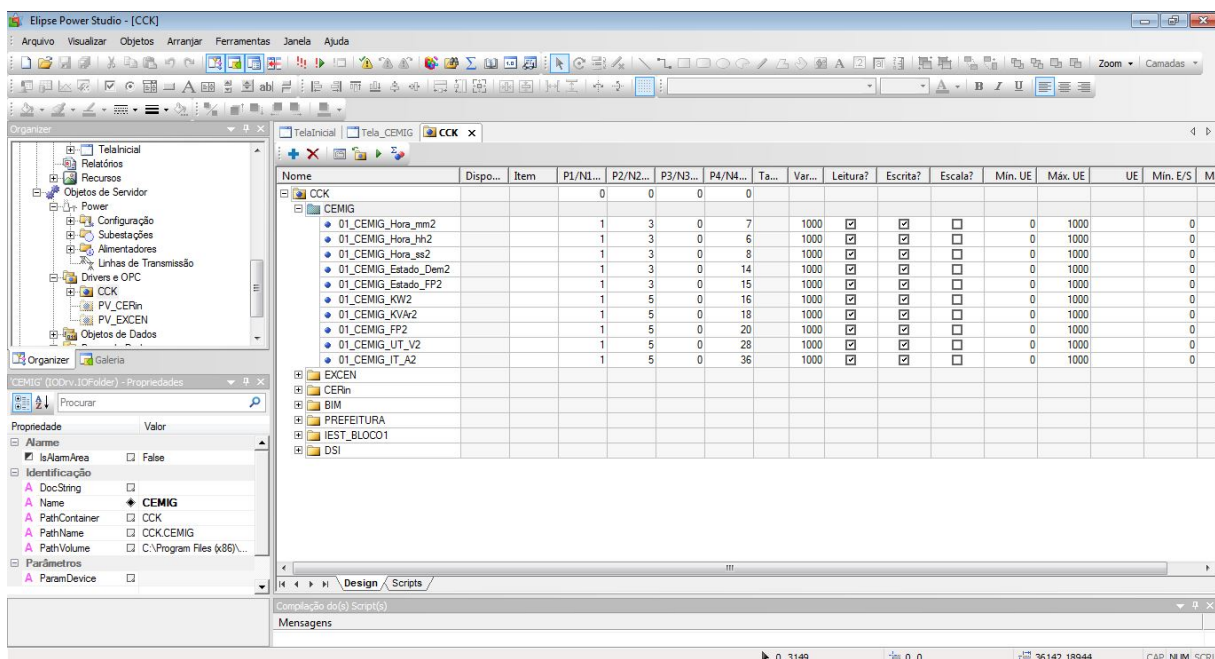


Figura 34: Driver de Comunicação Elipse Power com Medidores de Energia

A configuração do *driver* de comunicação para os sistemas fotovoltaicos operam da mesma forma, configura-se o IP do servidor de dados do fabricante (FRONIUS), e para cada inversor é atribuído um número de identificação, na Figura 35 é apresentada a configuração.

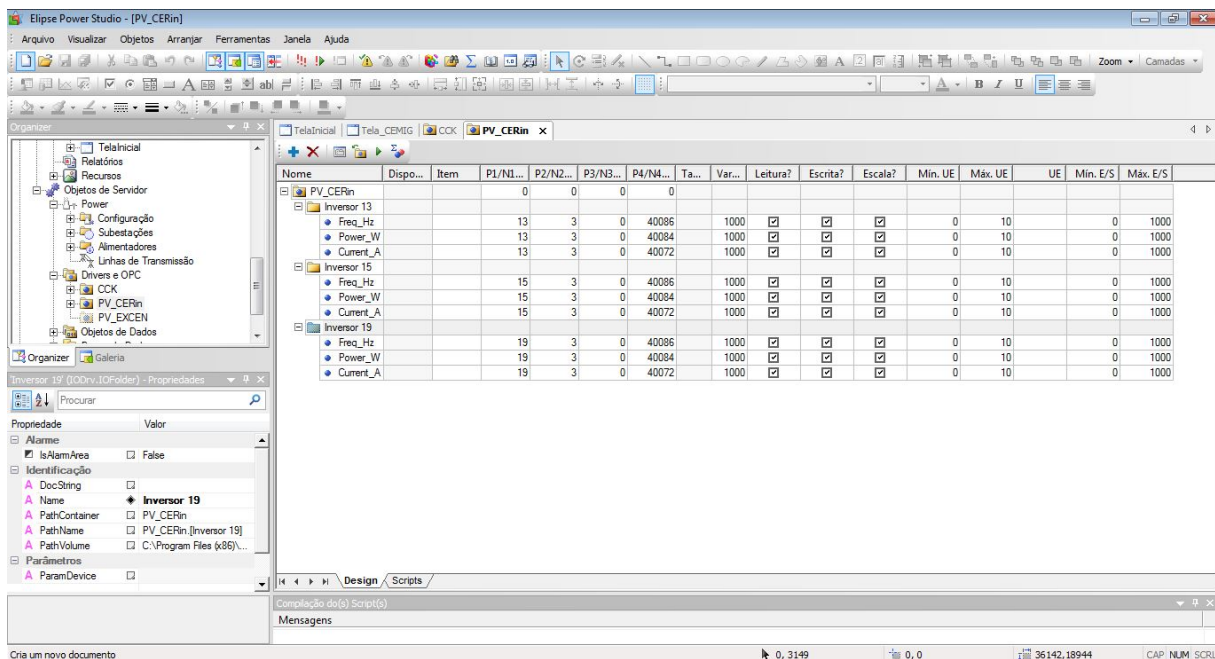


Figura 35: Driver de Comunicação Elipse Power com PV

5.4 Arquitetura

A Figura 36 apresenta todos os sistemas e softwares utilizados no trabalho, nas camadas de gerenciamento, supervisão, controle e campo. O sistema de campo e controle recebe informações dos medidores de energia e da geração distribuída, na camada PIMS está localizado o software PI System e na camada ERP através da BI (*Business Intelligence*) o software Power BI.

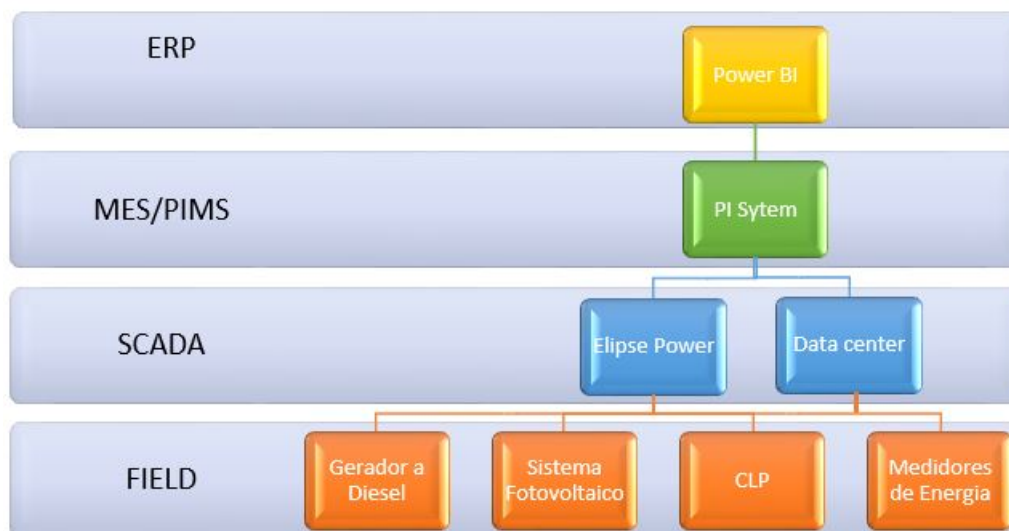


Figura 36: Pirâmide do Sistema Implementado

Os sistemas de medição e geração de energia elétrica possuem total integração à rede *Ethernet* do câmpus como apresentado na Figura 37, tais sistemas são conectados, porém não realizam troca de dados entre si.

Um dos objetivos deste trabalho foi proporcionar a comunicação entre os sistemas, de modo que interajam e operem da melhor forma possível. O sistema supervisor desenvolvido permite que isto ocorra e trabalha de forma autônoma na tomada de decisões, trabalhando como mestre desta rede.

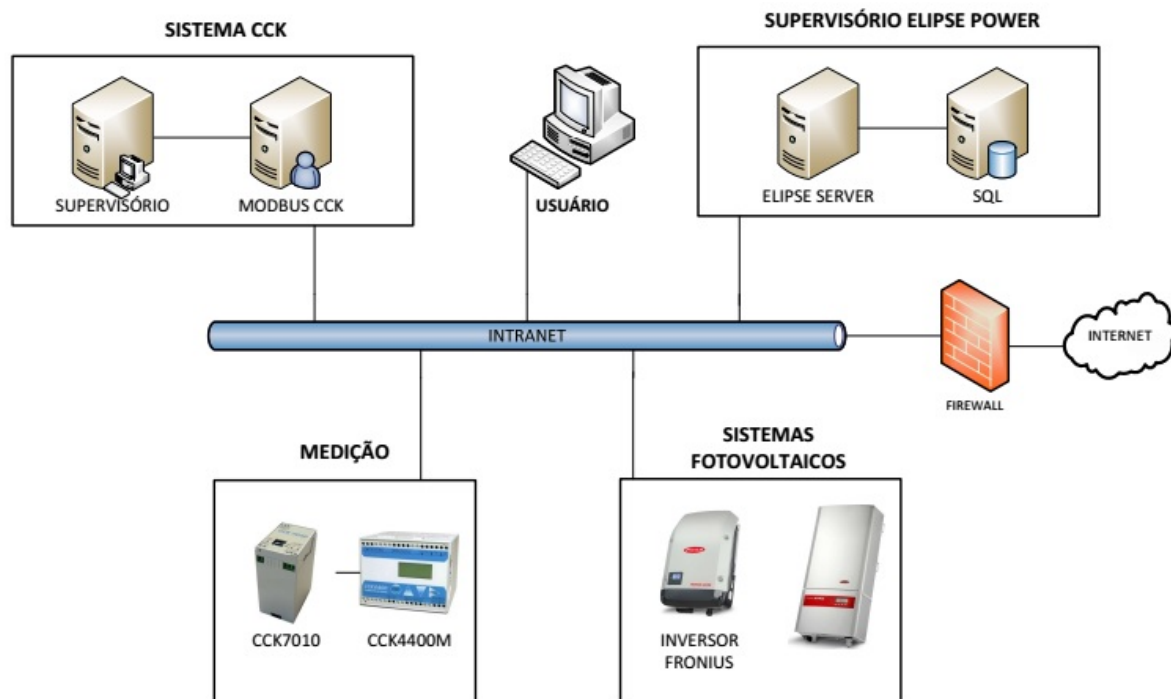
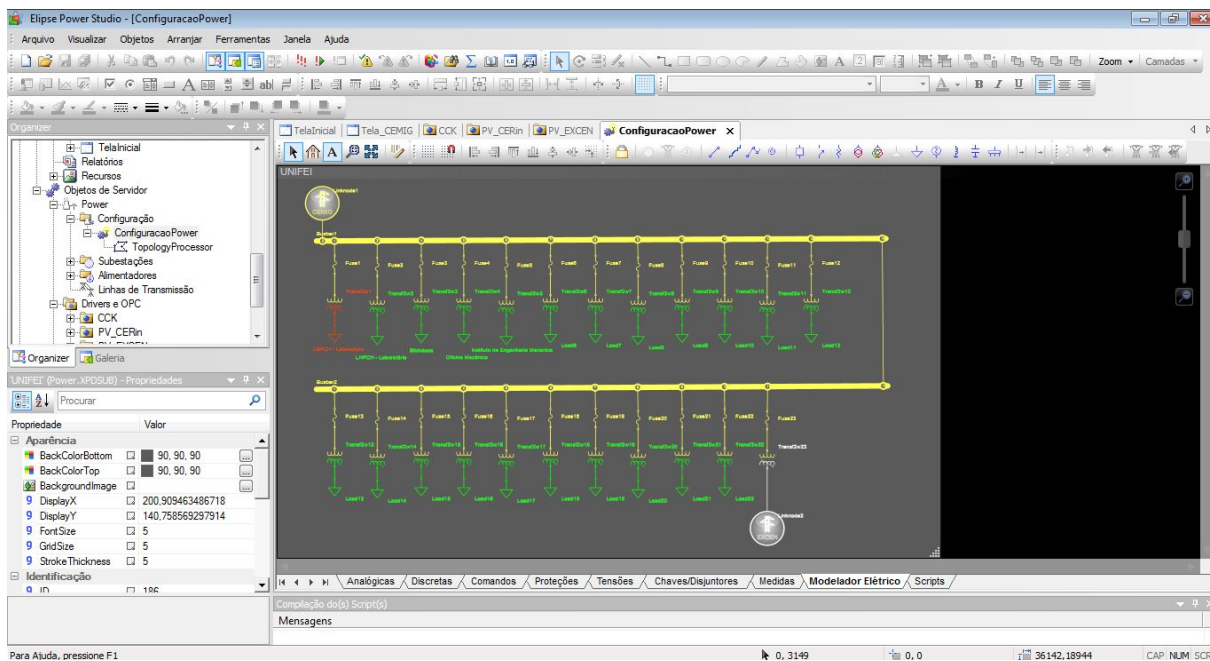


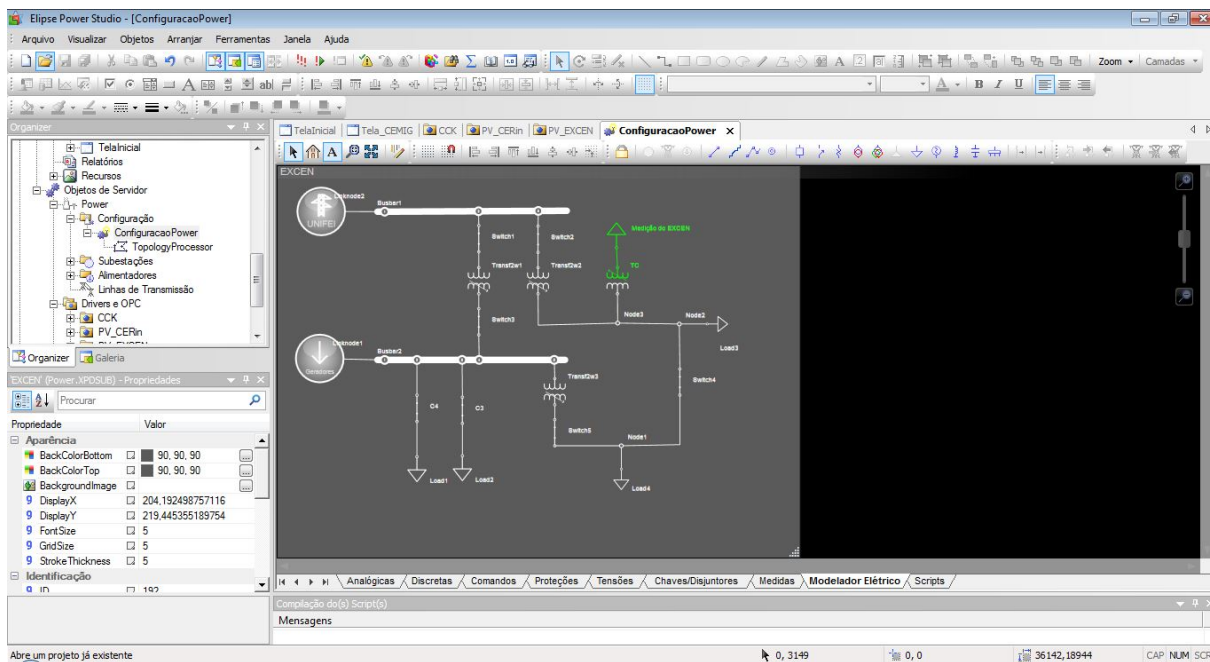
Figura 37: Arquitetura Elipse Power - UNIFEI

5.4.1 Elipse Power

O modelo elétrico representado na Figura 38 no software supervisor Elipse Power foi realizado através do projeto elétrico do câmpus, seguindo todas as características do próprio local. Através do sistema, futuramente será possível realizar tomadas de decisão para controle de demanda, desligamento de setores, entre outras possibilidades de controle de cargas com a instalação de dispositivos de controle remoto no câmpus.



(a) Distribuição ao longo do câmpus



(b) Laboratório EXCEN

Figura 38: Modelagem Elétrica

Na Figura 39 é apresentada a tela do sistema supervisor desenvolvida para a aplicação futura.

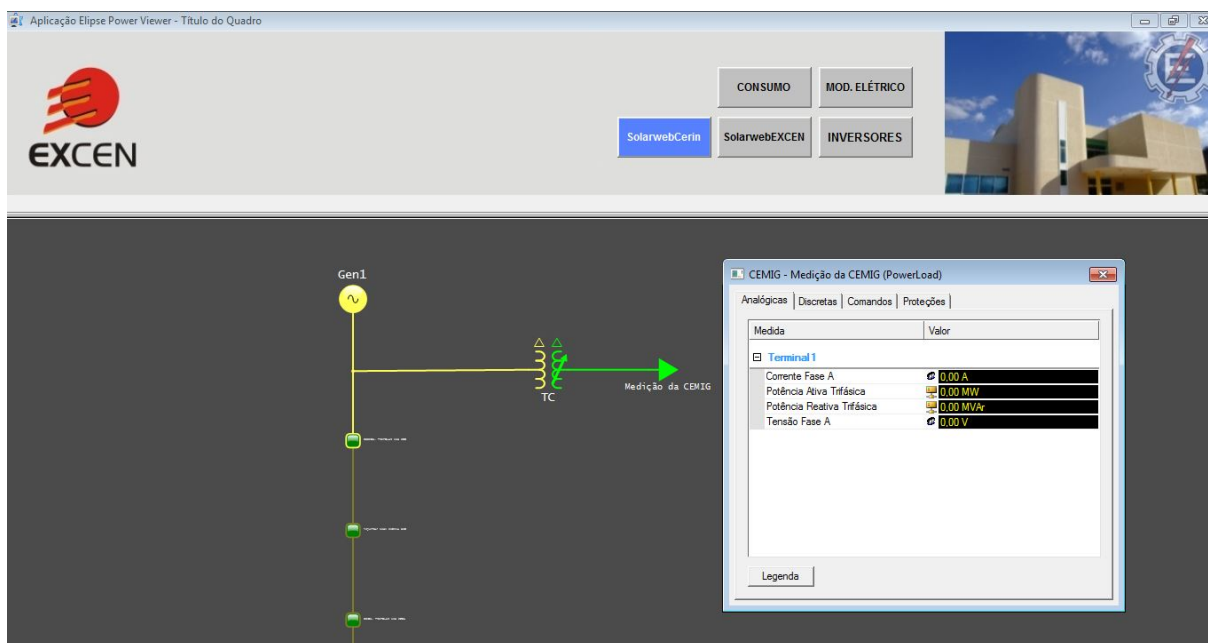


Figura 39: Supervisório Elipse Power

5.4.2 PI System

O software PI System foi disponibilizado para a UNIFEI em parceria com a empresa OSISoft, e sua infraestrutura é apresentada na Figura 40.

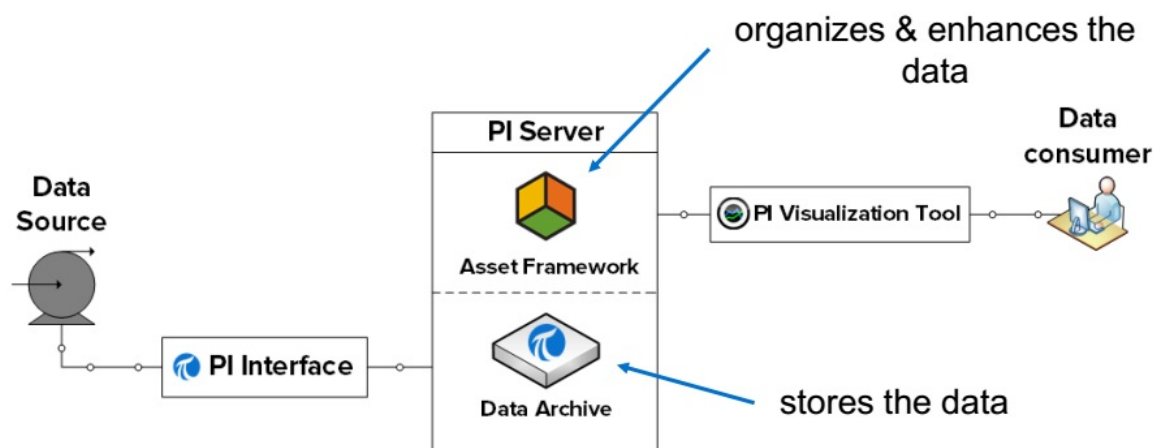


Figura 40: Infraestrutura PI (OSISOFT, 2016)

Seu ponto forte é o banco de dados (*Data Archive*). Nele, todos os dados (*tags*) são armazenados em função do tempo e com uma qualidade associada para cada valor. Além disto, existe uma compressão de dados que impede que informações repetidas sejam armazenadas, economizando espaço em disco e por consequente, agilizando as pesquisas. Para tal, o mecanismo utilizado é a exclusão dos dados desnecessários sem, no entanto, alterar a essência da informação.

Desta forma, ao compararmos o *Data Archive* com os bancos de dados relacionais

tradicionais do mercado, verifica-se que o mesmo é o mais indicado para a tarefa de coleta de dados.

O PI System é capaz de se comunicar com dispositivos utilizando diversos protocolos de comunicação. Isto é trabalho da interface e dos conectores, que para cada tipo de comunicação, transformam as informações do formato oferecido pelo dispositivo para o formato de armazenamento do PI. Assim, conhecendo-se o *driver* de comunicação utilizado pelos dispositivos, escolhe-se a interface ou conector adequado para a aplicação. No caso dos medidores da CCK e dos inversores da geração fotovoltaica, utilizou-se uma interface Modbus TCP/IP.

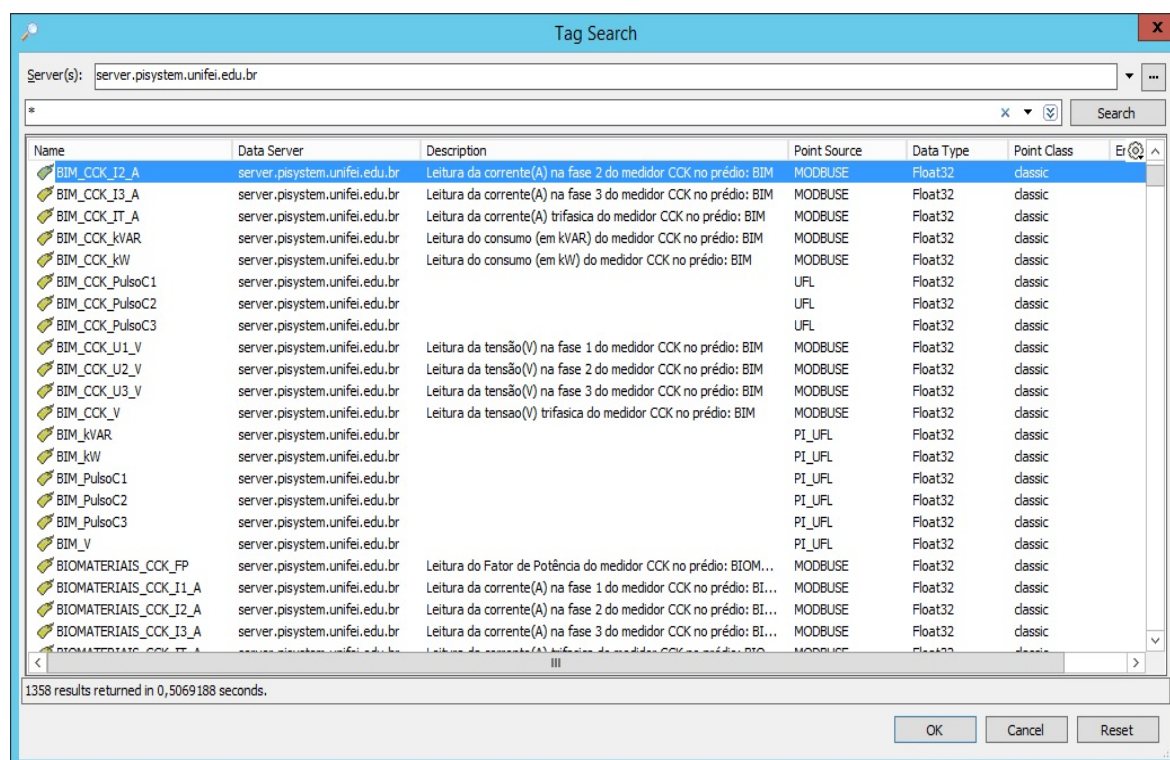


Figura 41: Configuração das Tags

Uma vez que as *tags* foram configuradas e recebem corretamente os dados que se deseja armazenar (Figura 41), foi desenvolvido um banco de dados relacional na ferramenta AF Explorer do PI System para a UNIFEI, criando uma árvore para o câmpus Itajubá com os elementos de cada sistema (CCK e fotovoltaico), de modo a organizar as *tags*, apresentado na Figura 42.

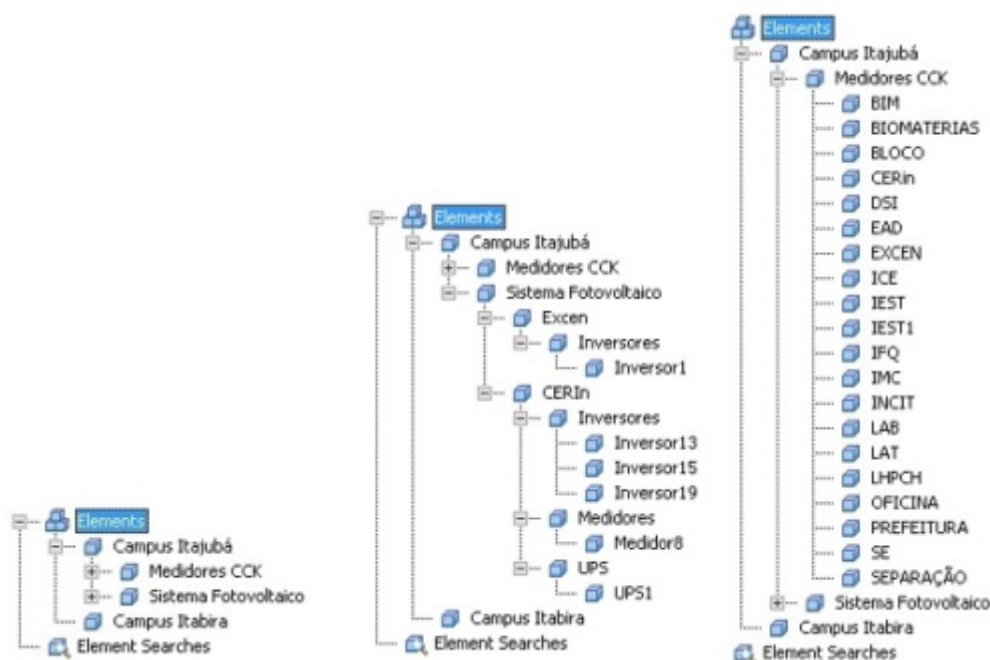
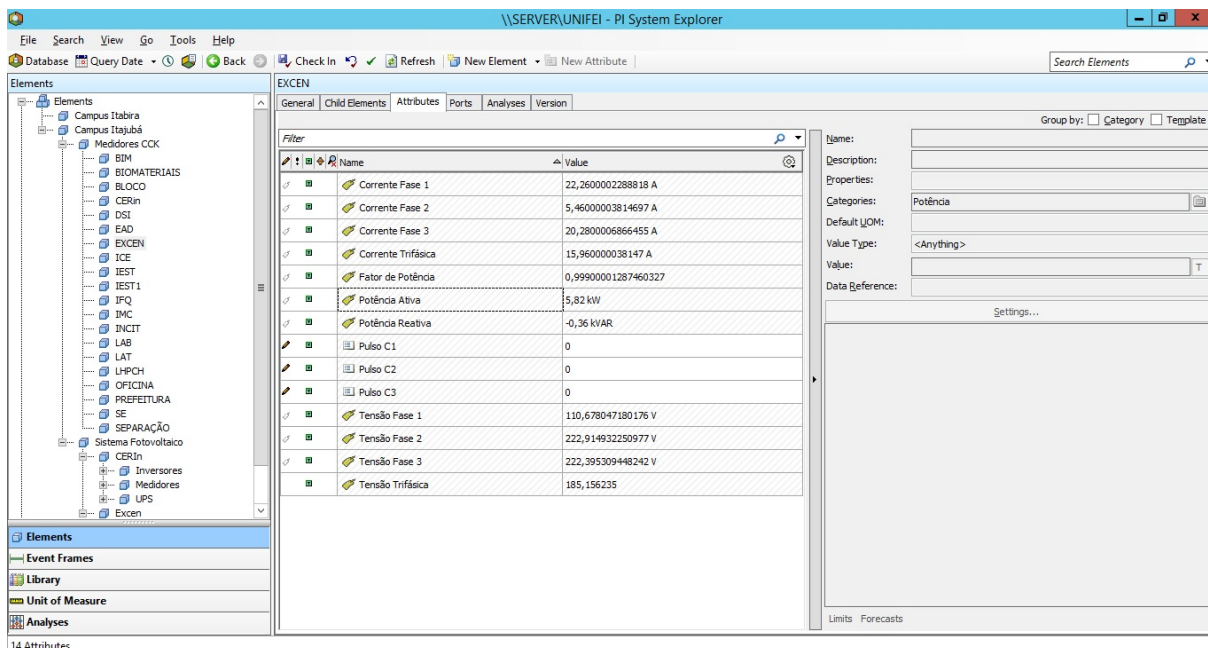
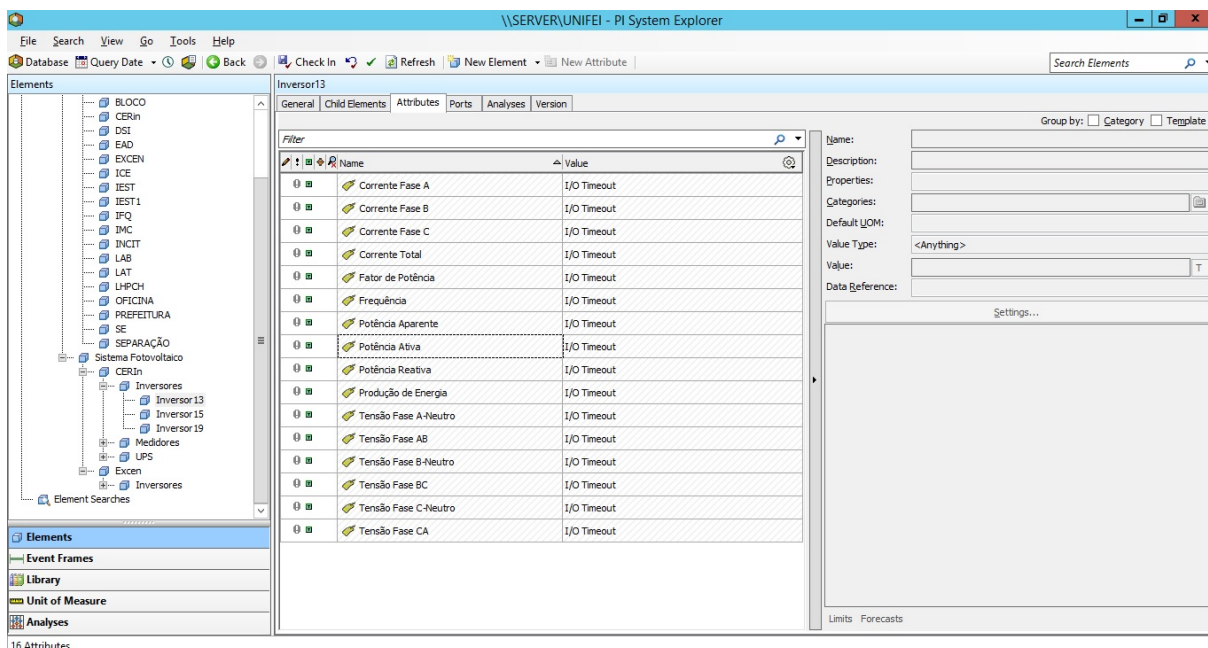


Figura 42: Árvore da UNIFEI no AF Explorer

A organização das *tags* em elementos do AF facilita o acesso aos valores nas ferramentas de visualização do PI System. A estrutura da árvore começa pelos câmpus da UNIFEI: Itajubá e Itabira. O câmpus Itabira por enquanto não fornece dados para o PI System. Enquanto isso, dentro do câmpus Itajubá há a divisão entre os sistemas fotovoltaico e CCK. Para cada elemento de cada sistema, há um elemento filho para cada equipamento de medição instalado e seus dados são armazenados no PI Data Archive. No caso do sistema CCK, os elementos filhos possuem o nome do prédio onde estão instalados e contém as leituras de Potência Ativa (kW), Potência Reativa (kVAr), Tensão (V) e Pulsos (C1, C2 e C3), para cada prédio. Ao passo que no sistema fotovoltaico há a divisão por prédios e ainda por tipo de equipamentos, sendo que os elementos filhos correspondem aos equipamentos concentrando os valores obtidos via Modbus TCP/IP, dados como Potência Aparente, Potência Ativa, Potência Reativa, Tensão de Fase, Produção de Energia, etc., conforme visualiza-se na Figura 43.



(a) Árvore Sistema CCK



(b) Árvore Sistema Fotovoltaico

Figura 43: Modelagem Elétrica

Conforme mencionado anteriormente, o PI System possui três ferramentas de visualização dos dados armazenados. O PI Process Book permite a exibição de telas dinâmicas análogas ao de um software supervisor, porém sem funcionalidades de atuação nos dispositivos, onde podem ser exibidos dados históricos e em tempo real, gráficos de tendência e fluxograma do processo. A Figura 44 apresenta a ferramenta.

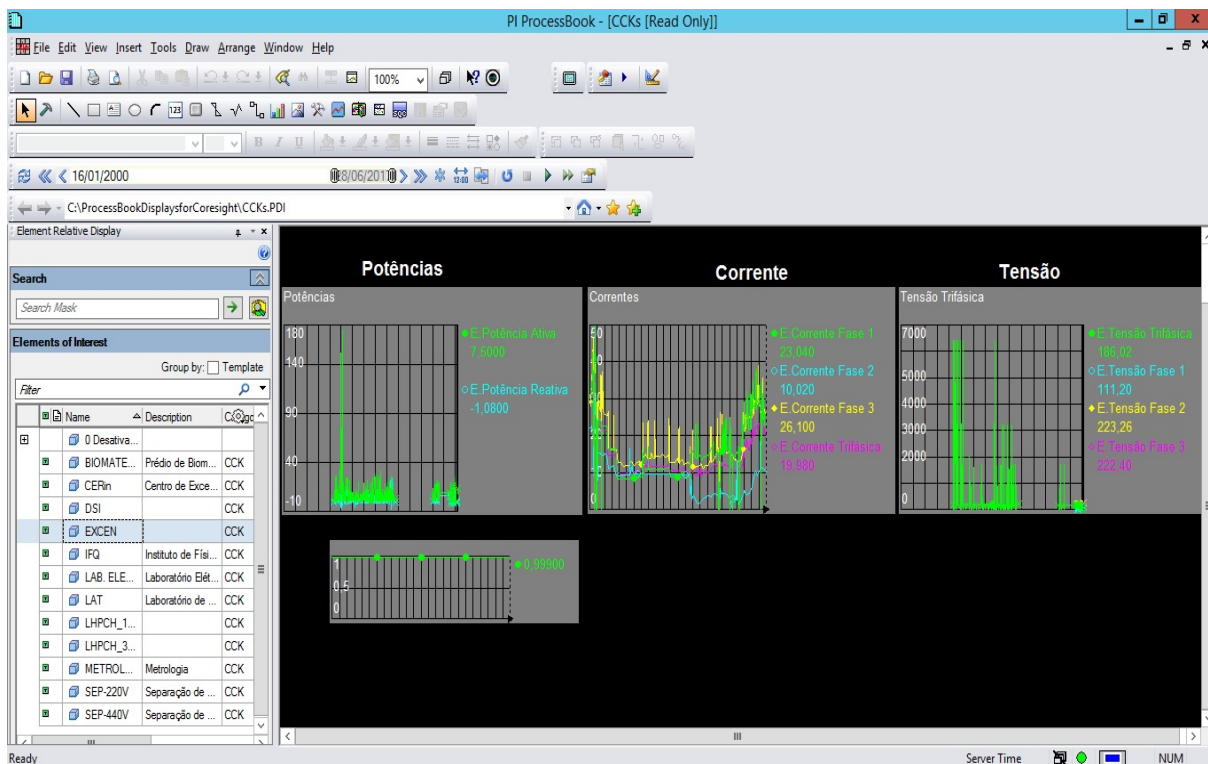


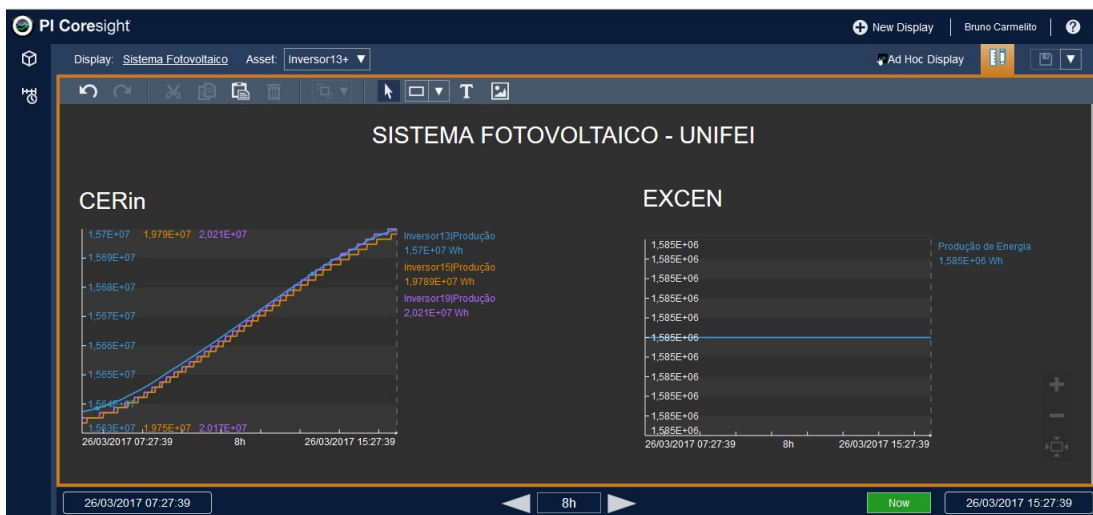
Figura 44: Process Book

O PI Coresight é uma ferramenta cliente baseada na web para exibições rápidas dos dados, que pode ser usado em qualquer lugar onde a conexão à Internet esteja disponível, ao contrário das outras ferramentas do usuário final que requerem uma instalação local.

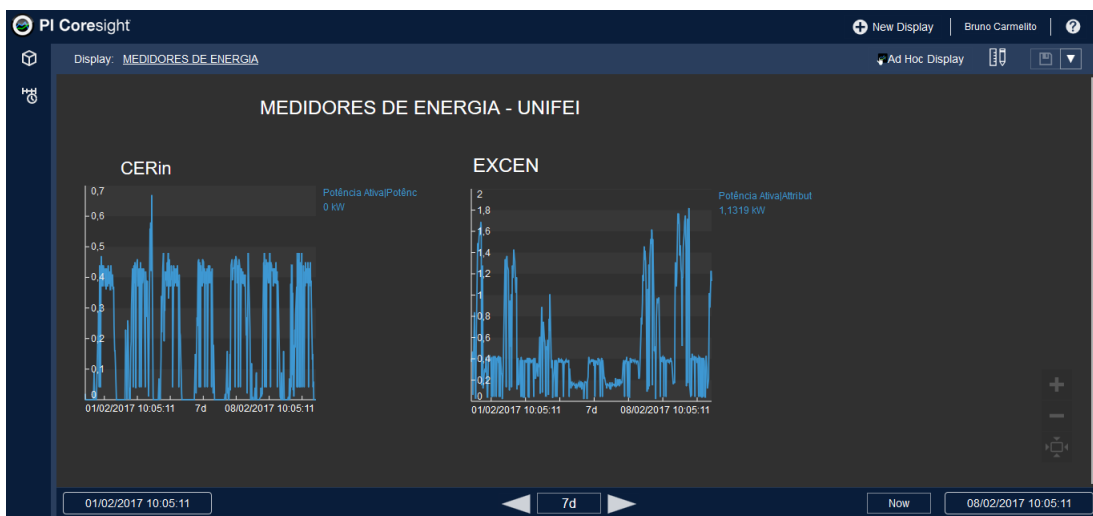
Através da ferramenta PI Coresight é possível visualizar e monitorar em tempo real os dados de todas as variáveis do sistema, desde o consumo dos prédios até a geração fotovoltaica. A ferramenta possibilita ainda o acesso a valores antigos armazenados no banco de dados do sistema, conforme apresentado na Figura 45.



(a) PI Coresight CCK



(b) PI Coresight Fotovoltaico



(c) Comparação do consumo nos laboratórios EXCEN e CERIn

Figura 45: PI Coresight UNIFEI

O PI DataLink é um *add-on* para o Microsoft Excel, permitindo uma fácil aquisição dos dados diretamente do PI Data Archive para planilhas dinâmicas, facilitando análises e estudos de BI. Uma planilha com os dados importados é apresentada na Figura 46.

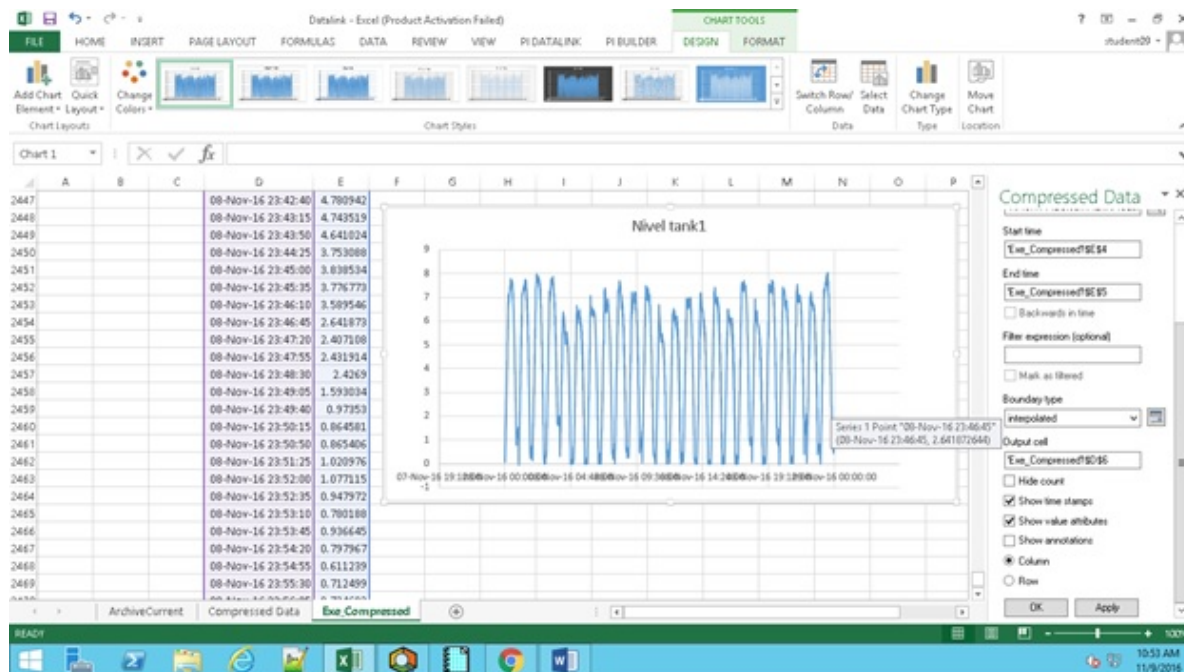


Figura 46: PI DataLink

A Figura 47 apresenta em blocos a arquitetura do sistema PI System implantado no câmpus. O diagrama demonstra como é obtido a informação dos equipamentos de campo por meio do usuário dentro da instituição.

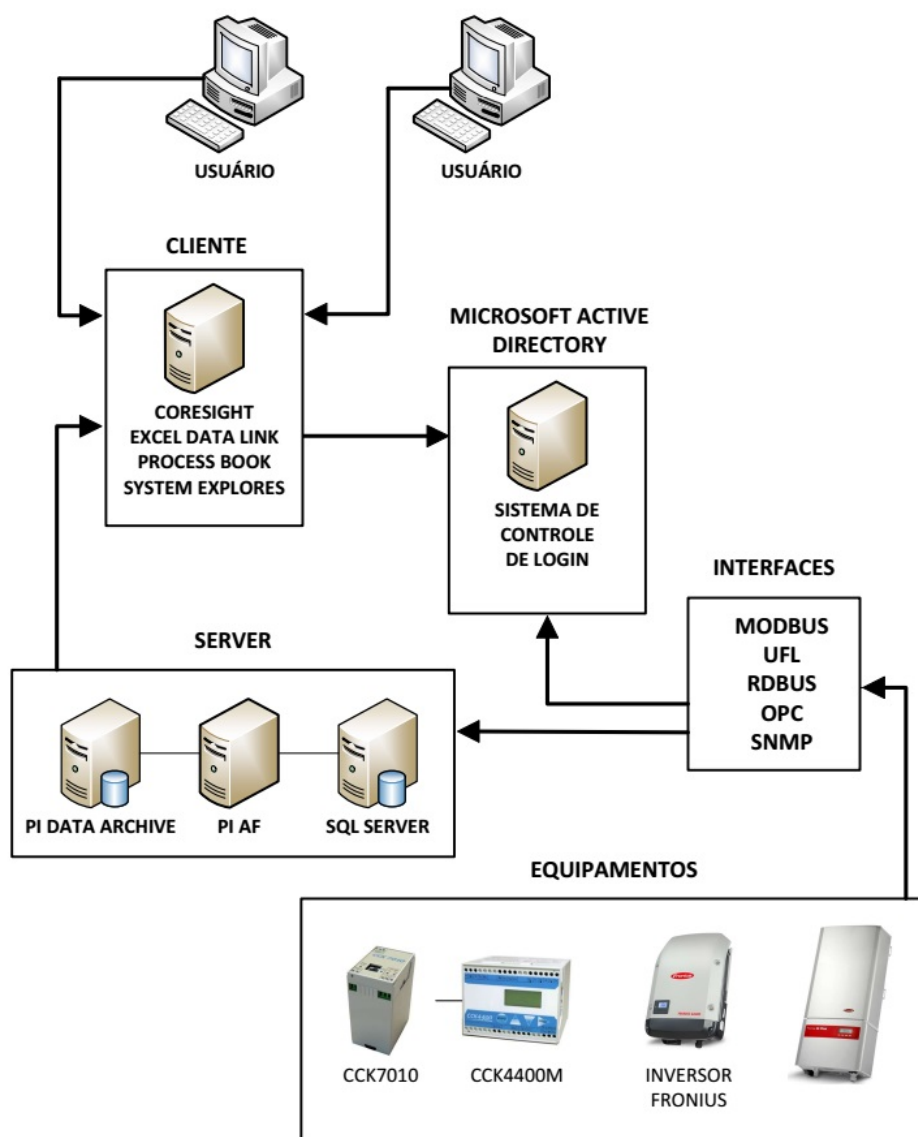
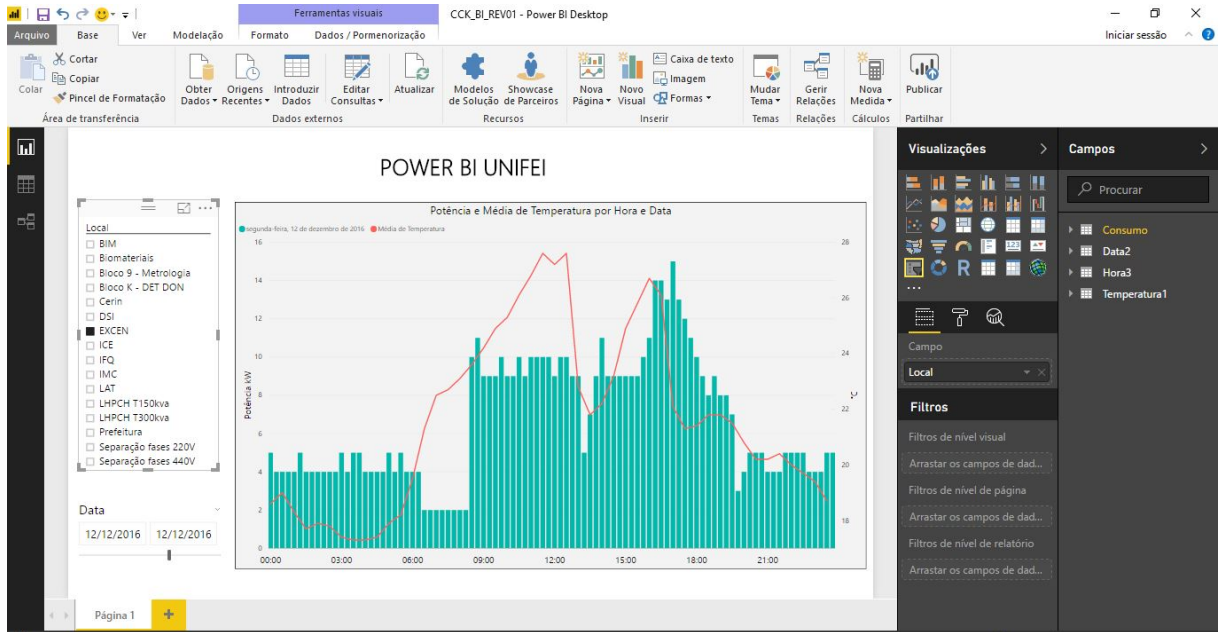


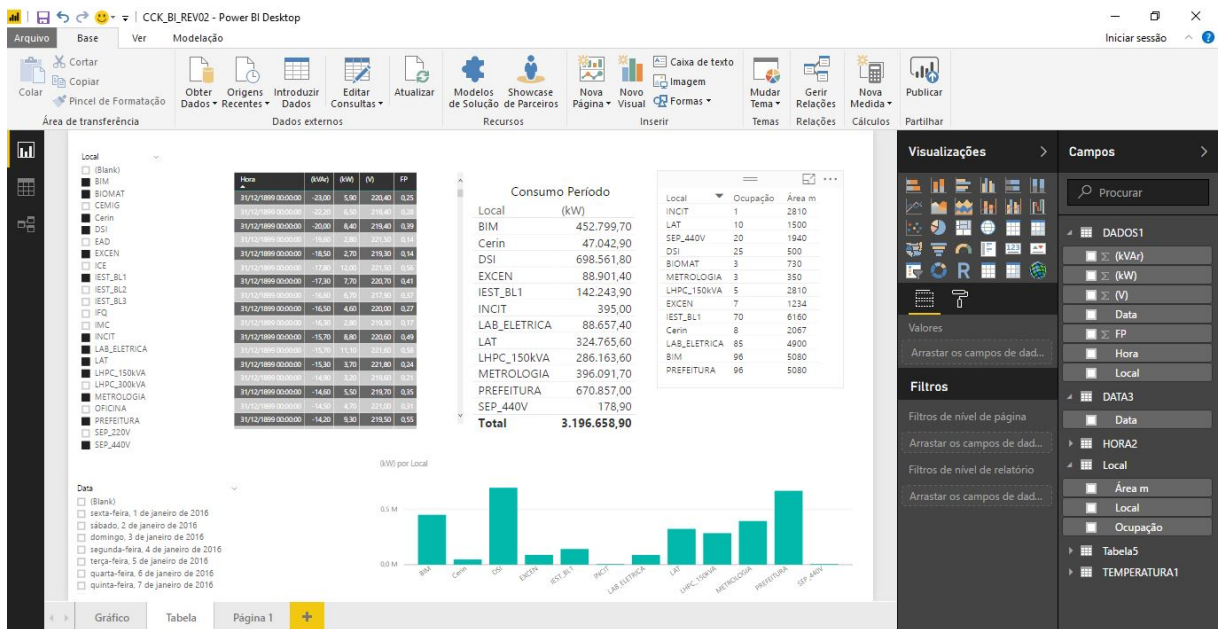
Figura 47: Arquitetura PI System - UNIFEI

5.4.3 Power BI

No trabalho inicializou-se uma análise utilizando o software Power BI como ferramenta de verificação dos resultados obtidos através do PI Data Link. Ficando para trabalhos futuros o aprimoramento da ferramenta que se mostrou eficiente para a análise proposta. A Figura 48 apresenta um exemplo de utilização do software com dados extraídos do Data Archive através do PI Data Link para análise de consumo do câmpus.



(a) Temperatura versus consumo



(b) Consumo Total por período

Figura 48: Power BI UNIFEI

Parte IV

Resultados

6 Indicadores

O estudo de eficiência dentro de uma instalação utiliza de indicadores que possam classificar e caracterizar a instalação a partir das questões técnicas, apontando a eficiência do uso da energia elétrica de uma forma geral (VIANA et al., 2012). Neste trabalho são utilizados indicadores para as cargas como fator de potência, uso de energia por horário e custo individual, assim identificando problemas nas instalações, do ponto de vista técnico ou comportamental. Para o sistema fotovoltaico será utilizado a *Performance Ratio* (PR) e *Yield Photovoltaic* (YP), que é a produtividade energética do sistema. Nas análises realizadas foram utilizados as ferramentas dos softwares PI System e Power BI para o tratamento dos dados.

6.1 Fator de Potência

O fator de potência de uma instalação elétrica traz informações importantes do uso da mesma, sendo determinado pelo tipo de carga instalada na rede elétrica. Este indicador torna-se importante para se evitar gastos desnecessários com o pagamento de multa por ultrapassagem de energia reativa. A energia elétrica é utilizada de duas formas diferentes: energia ativa e reativa. A energia ativa (P) é que realmente transformada em trabalho, e a energia reativa (Q) não realiza o trabalho efetivo, mas é responsável pela geração do campo magnético em motores elétricos.

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (6.1)$$

Onde,

- P - Energia ativa consumida em um intervalo de tempo, [kWh];
- Q - Energia reativa consumida em um intervalo de tempo, [kVArh]

O fator de potência é um número adimensional que está entre 0 e 1, dado pela diferença de fase entre a corrente e tensão elétrica. Esta diferença sendo abaixo de 1 é considerado fator de potência reativo, provocado por cargas indutivas que atrasam a corrente em relação a tensão, e igual a 1 utilizado por cargas puramente resistivas. Geralmente o fator de potência é corrigido com a instalação de capacitores na rede elétrica. Tais equipamentos tendem a adiantar a corrente em relação a tensão elétrica. A legislação brasileira dada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece que o

fator de potência deve ser superior a 0,92, e instalações que possuem fator abaixo do estabelecido estão sujeitas a pagar multa imposta pela concessionária.

O fator de potência do câmpus é analisado pelo gráfico das Figuras 49 e 50 no período de janeiro a agosto de 2016. A análise demonstra que dentro dos pontos onde há medição o fator de potência encontra-se abaixo do regulamentado, sendo um fator a ser verificado principalmente nos prédios onde este fator esta muito abaixo de 0,92.

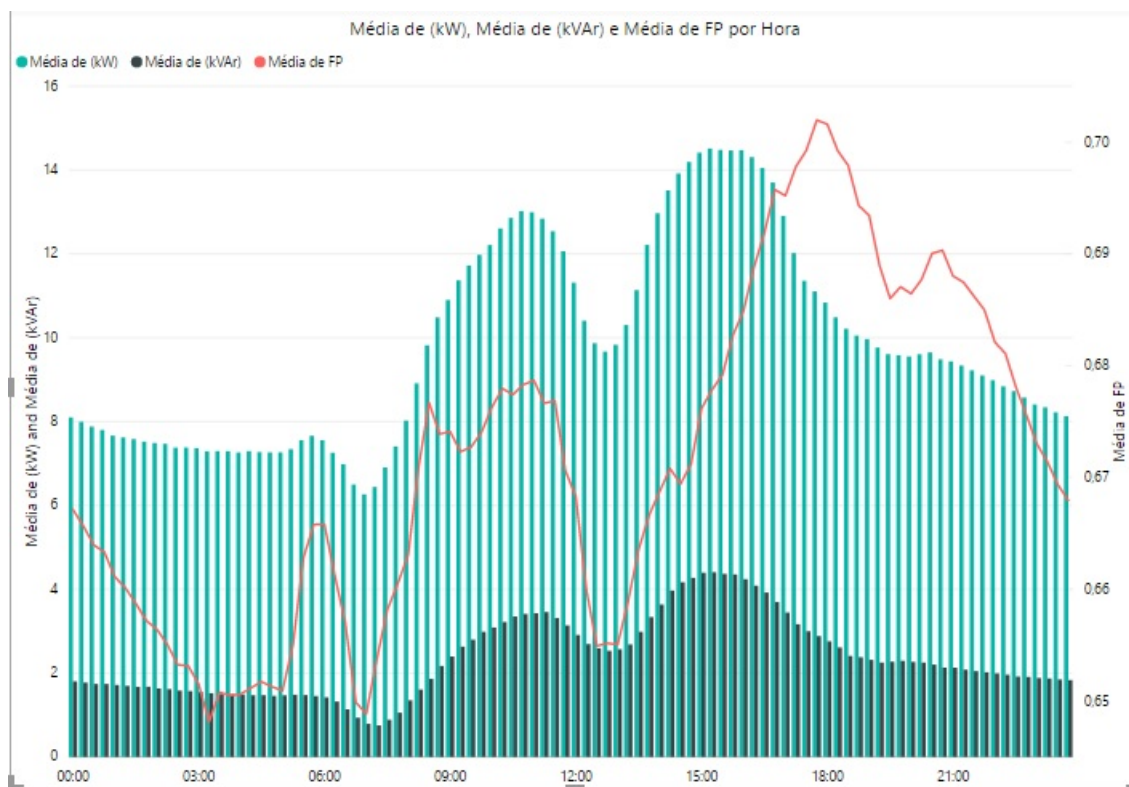


Figura 49: Fator de Potência em relação a Potência Ativa e Reativa

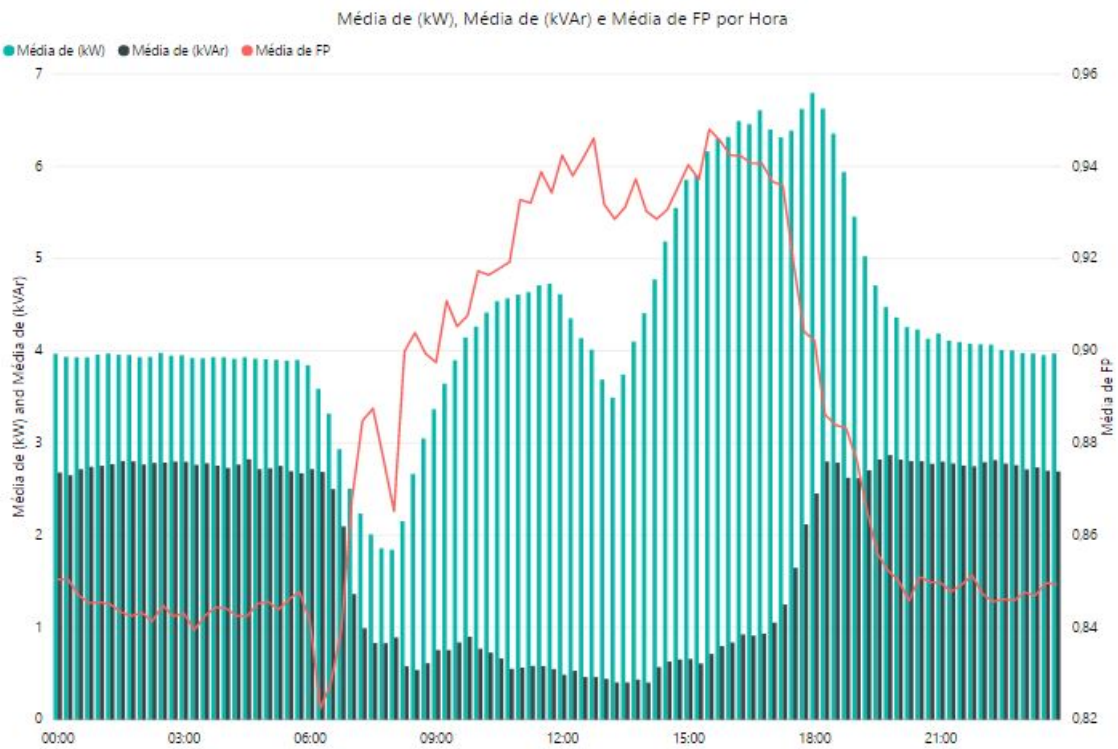
Média de FP	Rótulo	BIM	BIOMATERIAIS	CerIn	DSI	EXCEN	ICE	TEST_BLI	TEST_BL2	LAB_ELETRICA	LAT	LHPC_150kVA	LHPC_300kVA	METROLOGIA	PREFEITURA	SEP_220V	Total Geral
0,73	jan	0,73	0,98	0,48	0,96	0,95	0,44	0,95	0,65	0,94	0,96	0,96	0,74	0,94	0,93	0,73	0,82
0,46	fev	0,46	1,00	0,72	0,96	0,77	0,33	0,74	0,67	0,95	0,98	0,98	0,85	0,96	0,95	0,80	0,81
0,80	mar	0,80	0,98	0,70	0,97	0,84	0,42	0,63	0,68	0,91	0,99	0,98	0,90	0,97	0,97	0,82	0,84
0,90	abr	0,90	0,89	0,69	0,87	0,91	0,48	0,60	0,75	0,93	0,98	0,96	0,89	0,95	0,95	0,80	0,84
0,91	mai	0,91	0,93	0,48	0,86	0,94	0,47	0,86	0,76	0,89	0,98	0,96	0,76	0,92	0,96	0,81	0,83
0,91	jun	0,91	0,95	0,21	0,86	0,93	0,51	0,92	0,74	0,92	0,96	0,98	0,79	0,87	0,97	0,83	0,82
0,81	jul	0,81	0,93	0,28	0,86	0,84	0,48	0,91	0,72	0,93	0,97	0,98	0,68	0,93	0,96	0,78	0,80
0,72	ago	0,72	0,91	0,75	0,88	0,74	0,51	0,94	0,80	0,88	1,00	0,92	0,57	0,93	0,97	0,84	0,82
0,79	Total Geral	0,79	0,95	0,51	0,91	0,88	0,45	0,80	0,71	0,92	0,98	0,97	0,80	0,93	0,95	0,80	0,82

Figura 50: Fator de Potência de Janeiro a Agosto

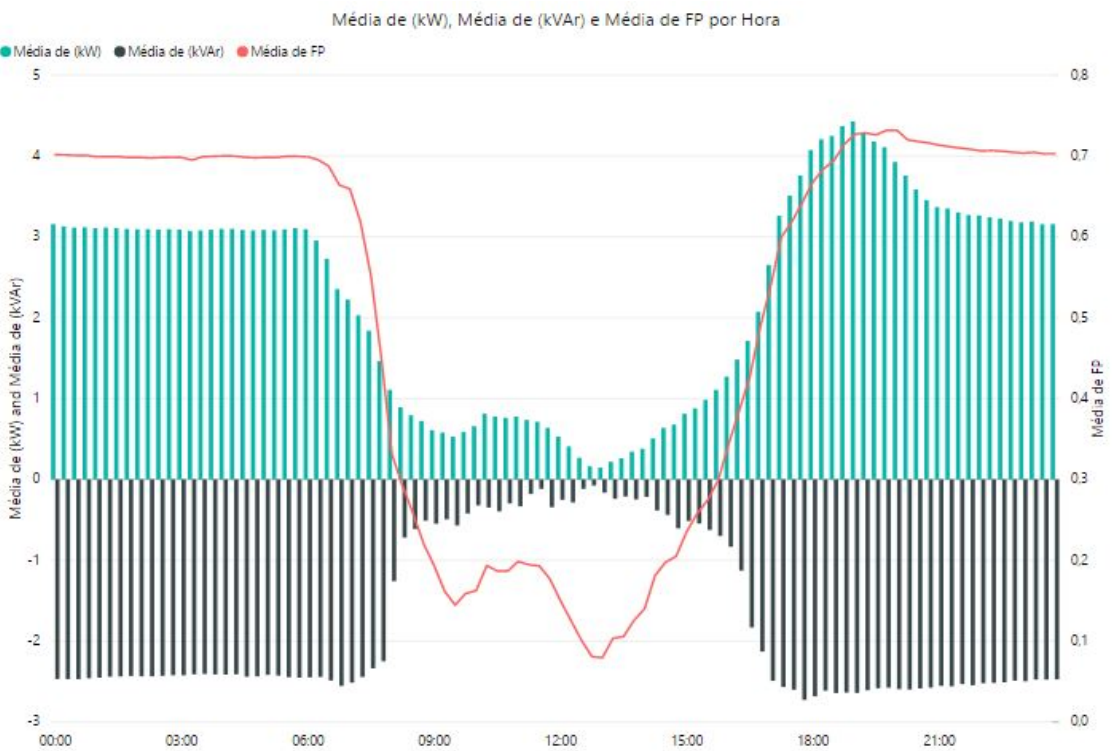
Utilizando dos mesmos parâmetros anteriores realiza-se através do software Power BI uma análise dos prédios onde possuem geração própria (EXCEN e CERIn) para verificação do comportamento do fator de potência.

Na Figura 51 verifica-se que no prédio do CERIn o fator de potência é muito baixo no período de 07:00 às 17:00 horas, isto ocorre por coincidir com o período onde há geração de energia pelo sistema fotovoltaico, e devido a geração ser muito maior que o

consumo do prédio. No EXCEN a geração não causa tanto impacto no fator de potência, devido a mesma ser muito menor que o consumo total do prédio.



(a) FP EXCEN



(b) FP CERIn

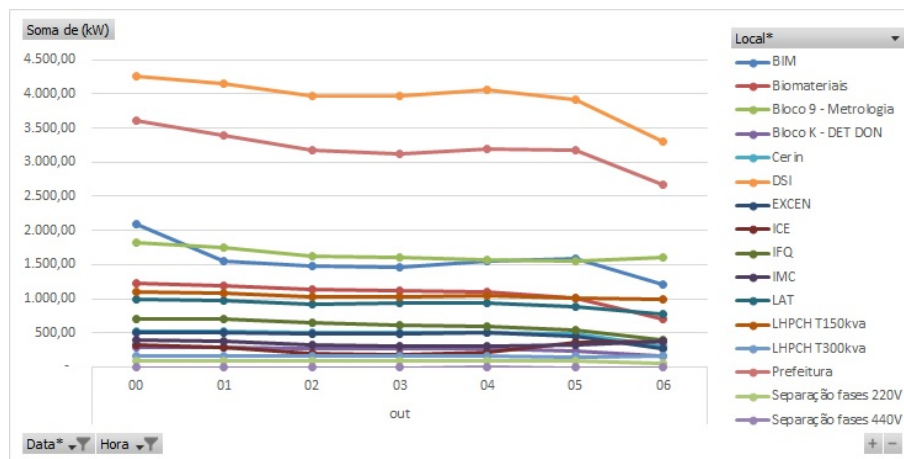
Figura 51: Análise de FP nos prédios que possuem GD

6.2 Uso da Energia por Horário

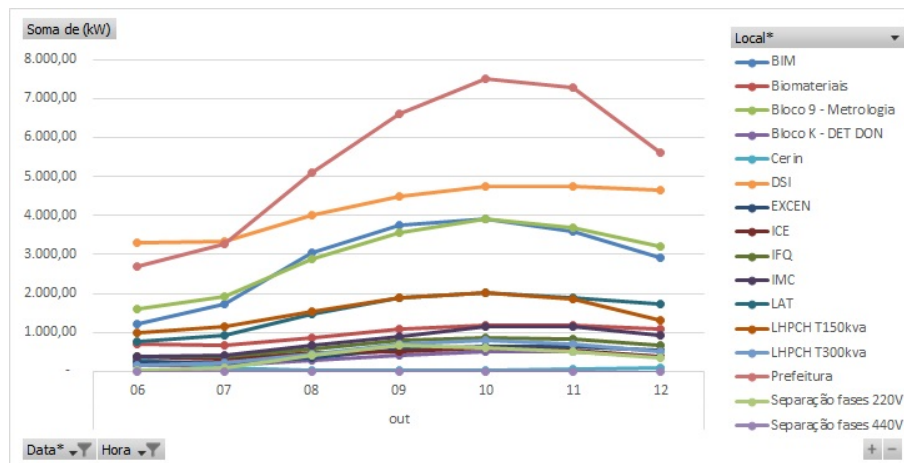
Nesta seção o uso da energia foi separado em quatro períodos conforme a Tabela 7 e tomado como referência o mês de Outubro de 2016, apresentados na Figura 54 por completo e nas Figuras 52 e 53 divididos em cada período.

Tabela 7: Energia por período

Período	Horário
1	00:00 às 06:00
2	06:00 às 12:00
3	12:00 às 18:00
4	18:00 às 00:00

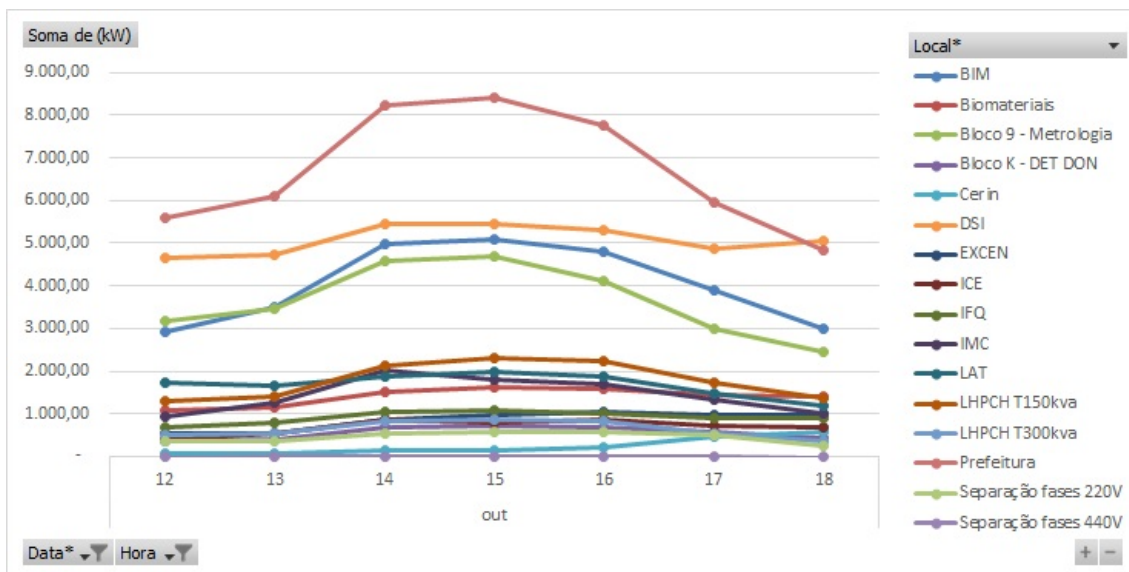


(a) P1

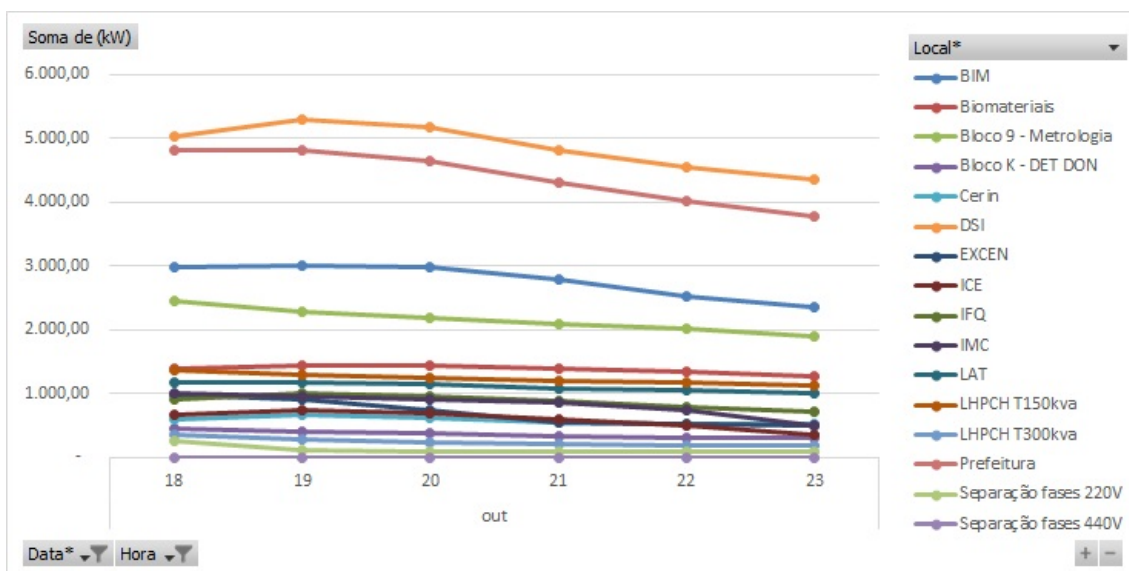


(b) P2

Figura 52: Período 1 e 2



(a) P3



(b) P4

Figura 53: Período 3 e 4

Esta caracterização leva em consideração a sazonalidade do câmpus, ou seja os períodos em que acontecem as aulas. Este indicador destaca conforme a Figura 54 os horários de baixa e alta atividade, podendo ser utilizado para separar os horários fora ponta e ponta.

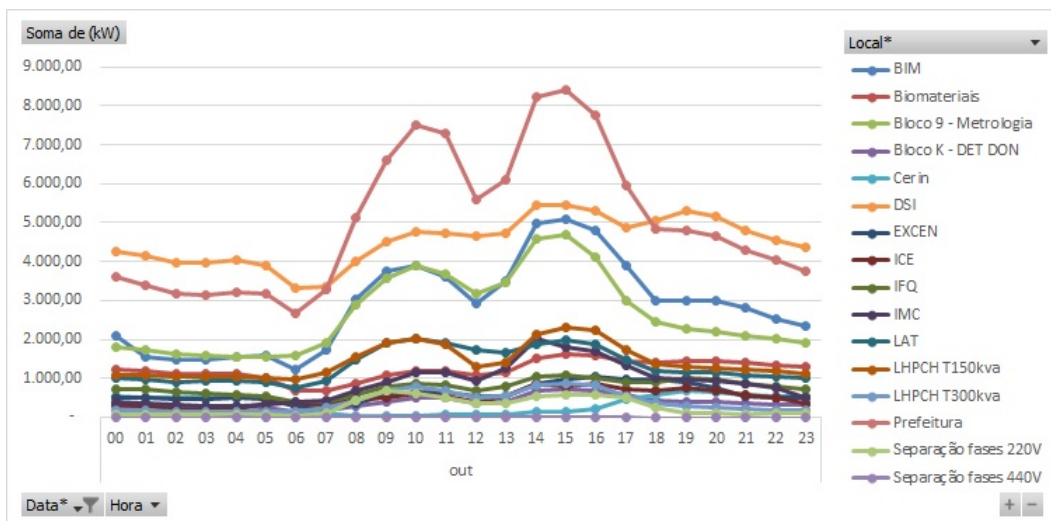


Figura 54: Consumo Horário - Outubro de 2016

Segundo São (2005), outros indicadores podem ser utilizados para comparar a demanda dos períodos verificados, em que, aliados às informações de ocupação e funcionamento das unidades, auxilia na avaliação dos contratos e futuros projetos de novas instalações.

6.3 Consumo individual

O indicador de consumo individual demonstra a representatividade de cada prédio no período anual, Figura 55.

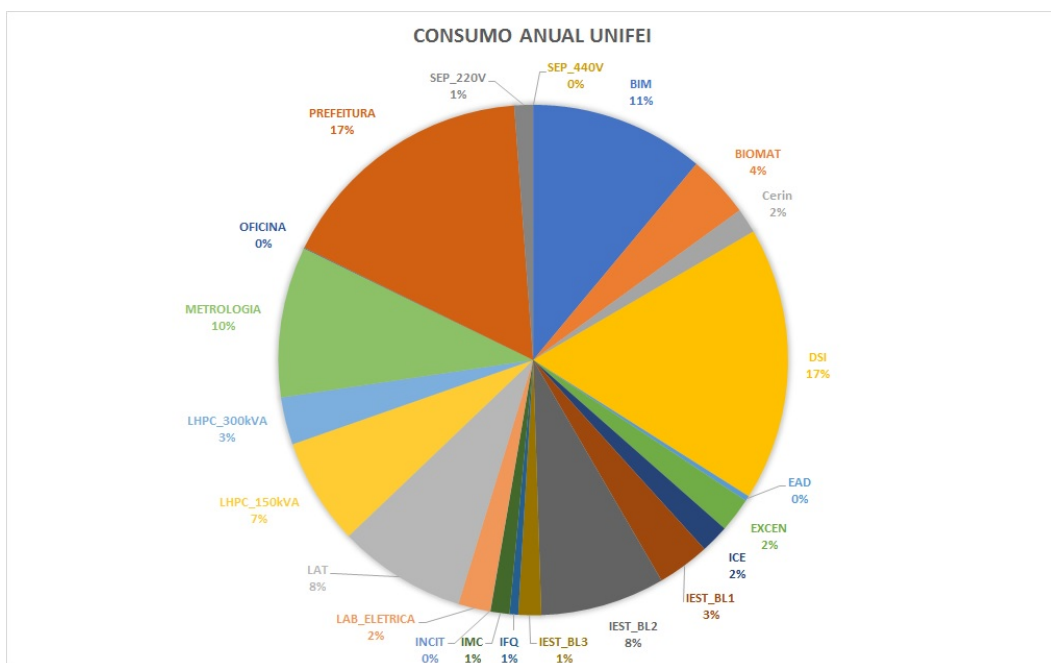


Figura 55: Representação percentual de consumo por unidade no período de 2016

De acordo com a Figura 55 e apresentado na Tabela 8, o consumo no período anual de 2016 de cada prédio. Analisando as principais cargas que contribuem com a maior parte do consumo do câmpus, verifica-se que a BIM (Biblioteca), DSI (Departamento de Sistemas de Informação), Prefeitura e Metrologia merecem uma maior atenção, sendo que as mesmas estão localizadas no alimentador 4 onde juntas representam mais de 50% do consumo do câmpus.

Tabela 8: Percentual anual de consumo por unidade

Unidades	%
BIM	11%
BIOMAT	4%
Cerin	2%
DSI	17%
EXCEN	2%
ICE	2%
IEST-BL1	3%
IEST-BL2	8%
IEST-BL3	1%
IFQ	1%
IMC	1%
LAB-ELETRICA	2%
LAT	8%
LHPC-150kVA	7%
LHPC-300kVA	3%
METROLOGIA	10%
PREFEITURA	17%
SEP-220V	1%

6.4 Indicadores do Sistema Fotovoltaico

Os dados que melhor expressam o real desempenho de um SFCR são a taxa de desempenho (PR - *Performance Ratio*) e a produtividade energética (YP - *Yield Photovoltaic*). Para os cálculos de PR e YP foram utilizados dados de geração mensal (kWh/mês) e dados obtidos do Sistema de Aquisição de Dados Atmosféricos (SADA) disponíveis para o ano de 2016.

A PR do sistema indica a relação entre a produtividade real do sistema e a produtividade de referência, neste caso obtida a partir de dados reais medidos por um piranômetro. A utilização desse parâmetro possibilita a comparação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede que podem diferir em relação ao design, tecnologia ou localização geográfica.

$$PR = \frac{Et}{P_o} * \frac{G}{Ht} \quad (6.2)$$

- t - Tempo considerado;
- Et - Energia gerada [kWh] pelo sistema fotovoltaico para o tempo “t”, em corrente alternada;
- Po - Potência nominal total do sistema fotovoltaico, [kWp];
- G - Irradiância de referência, [1000 W/m²];
- Ht - Irradiação sobre o plano dos módulos para o ano “t” [Wh/m²], calculada a partir dos valores de irradiância [W/m²] medidos pelos piranômetros que compõem o SAAD do sistema fotovoltaico.

A PR indica as perdas do sistema, assim não é possível atingir 100% de PR, pois sempre irão surgir perdas com o funcionamento do sistema. Atualmente em diversos estudos como apresentado por [Decker e Jahn \(1997\)](#) aponta-se uma PR de 80% para sistemas bem dimensionados e instalados.

Na Figura 56 visualiza-se o desempenho anual do sistema fotovoltaico do EXCEN e CERIn com os dados de irradiância medidos pela estação meteorológica. A análise demonstra que o sistema instalado no EXCEN possui uma melhor performance que pode estar aliado a fatores de ordem técnica, como rede elétrica, instalação, disponibilidade do sistema e manutenção. Outros fatores que influenciam na PR são fatores climáticos (peculiares da região), relevo, altitude, temperatura, índices pluviométricos e índices de irradiação, que neste caso não são avaliados devido aos sistemas estarem na mesma região.

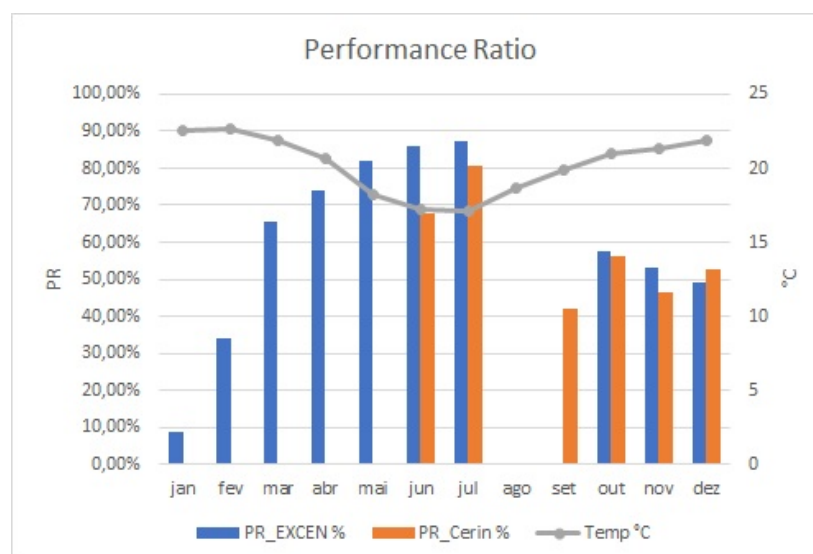


Figura 56: Performance Ratio Sistemas Fotovoltaicos-2016

Após obter os valores referentes a PR mensal considerando os dados de irradiância medidos, foi realizado a mesma análise utilizando a irradiância do banco de dados da NASA obtido pelo SWERA (<https://maps.nrel.gov/swera>), conforme apresentado na Figura 57. Assim, pode-se comparar as PR calculadas para as diferentes referências de irradiação.

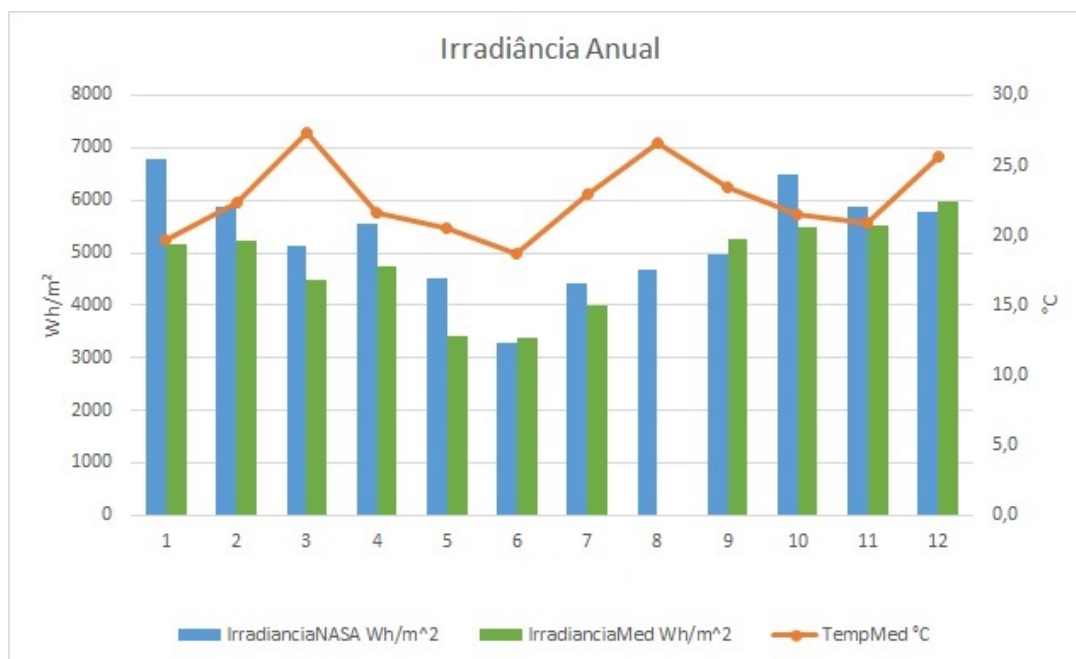


Figura 57: Irradiância Anual(2016)

Esta diferença entre o nível irradiância medido e o utilizado nos cálculos de PR em referência pela NASA é apresentada na Tabela 9, com uma variação de até 25% conclui-se que para se ter uma PR confiável deve-se utilizar sempre a irradiância medida no plano do módulo fotovoltaico.

Tabela 9: Diferença irradiância medida x NASA - 2016

Mês	Variação de PR
jan	24%
fev	11%
mar	13%
abr	15%
mai	25%
jun	-3%
jul	9%
ago	0%
set	-6%
out	15%
nov	6%
dez	-3%

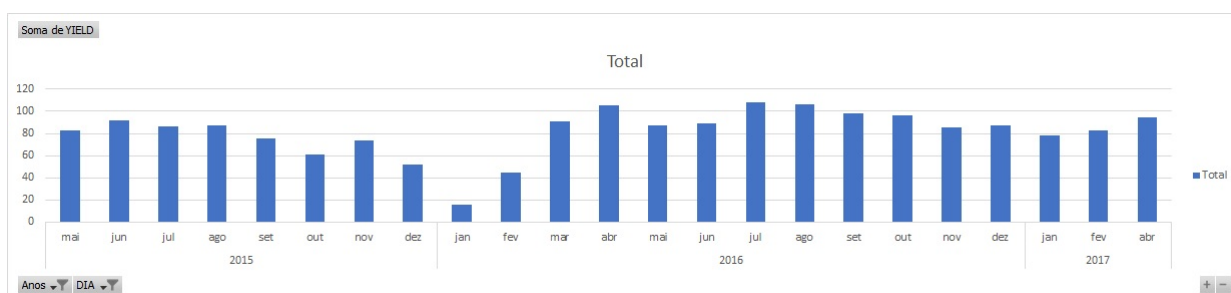
A produtividade do sistema fotovoltaico é a relação da energia gerada (kWh), entregue ao sistema em um dado período de tempo, e a potência instalada (kWp) do sistema.

$$YP = \frac{\text{EnergiaGerada}}{\text{PotênciaInstalada}} [\text{kWh/kWp}] \quad (6.3)$$

A Tabela 10 e a Figura 58 apresentam a produtividade mensal e total para os anos de 2015, 2016 e início de 2017 do EXCEN.

Tabela 10: *YIELD* EXCEN

<i>YIELD</i>	2015	2016	2017
Mês	kWh/kWp	kWh/kWp	kWh/kWp
jan	-	15,91	78,05
fev	-	44,64	82,90
mar	-	90,92	94,50
abr	-	105,16	-
mai	82,44	87,11	-
jun	91,91	89,24	-
jul	86,74	108,20	-
ago	87,10	106,41	-
set	75,38	98,51	-
out	60,89	96,21	-
nov	74,01	85,67	-
dez	51,71	87,66	-
TOTAL	610,19	1015,64	255,45

Figura 58: *YIELD* EXCEN

Ao analisar a produtividade do EXCEN para os mesmos períodos de maio a dezembro dos anos de 2015 e 2016, nota-se que a produtividade do sistema foi maior em 2016, e tende a aumentar em 2017, os diferentes níveis de irradiância anual junto a disponibilidade do sistema podem justificar tal diferença.

Na Tabela 11 visualiza-se a produtividade do sistema fotovoltaico do CERIn desde sua implantação.

Tabela 11: *YIELD* Cerin

<i>YIELD</i>	2016	2017
Mês	kWh/kWp	kWh/kWp
jan	-	269,01
fev	-	288,41
mar	-	326,05
abr	-	278,76
mai	-	179,05
jun	229,84	-
jul	322,27	-
ago	302,19	-
set	220,81	-
out	310,21	-
nov	256,74	-
dez	314,97	-
TOTAL	1957,02	1341,28

6.5 Correlação de dados

Através da ferramenta de visualização e aquisição de dados, PI DataLink são realizadas análises de correlação de dados, conforme apresentado na Figura 59.

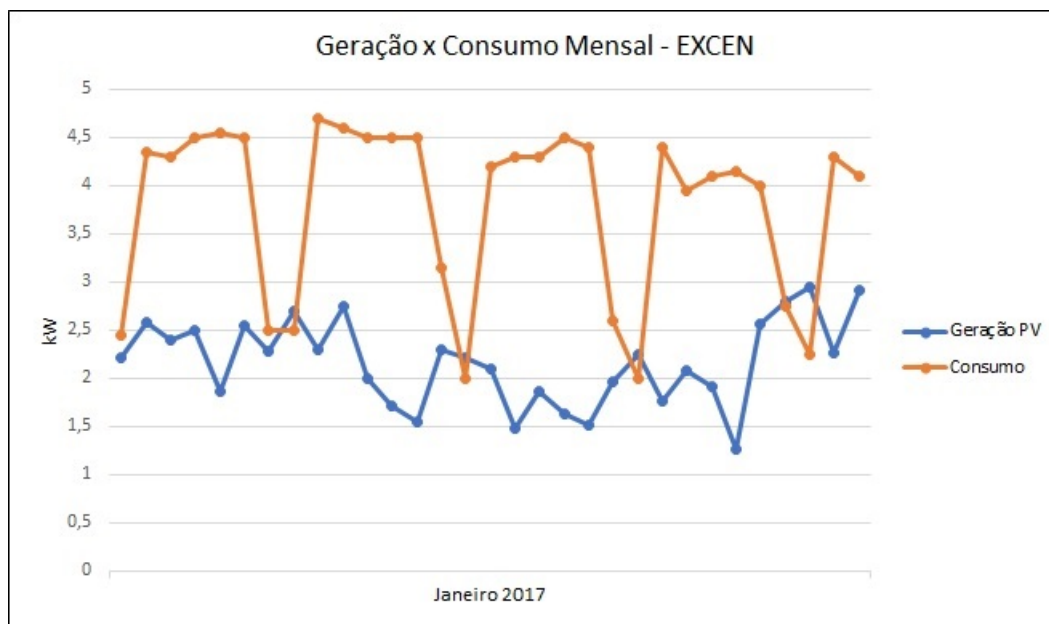


Figura 59: Perfil de Geração x Consumo EXCEN - Janeiro de 2017

A Figura 59 apresenta o perfil de geração e consumo do prédio do EXCEN ao longo do mês de janeiro. Observa-se o comportamento característico da universidade, onde durante os finais de semana a geração sobrepõe-se ao consumo, e nos dias letivos convencionais temos a geração abaixo do consumo.

Outra análise realizada em relação ao sistema fotovoltaico do EXCEN apresentado na Figura 60, demonstra o acompanhamento da geração desde sua implantação até o ano de 2017.

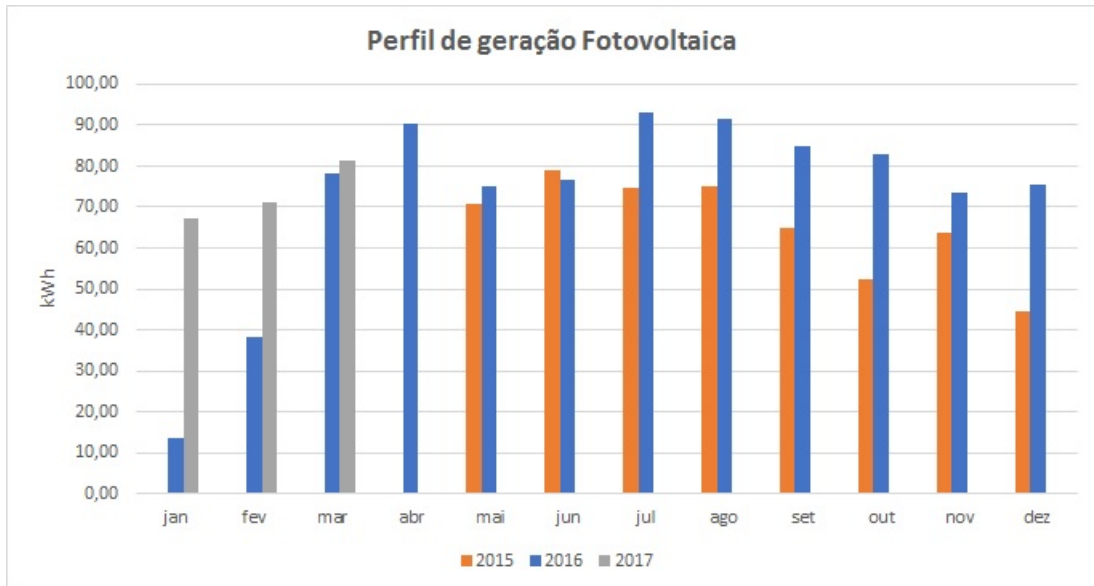


Figura 60: Perfil de Geração Fotovoltaica Anual

Na Figura 61 demonstra-se com maior detalhe o percentual de aumento na produção de energia em relação aos anos de 2015 e 2016. Com estas análises pode-se investigar os fatores que influenciaram diretamente neste percentual, entre eles o nível de irradiação e disponibilidade do sistema.

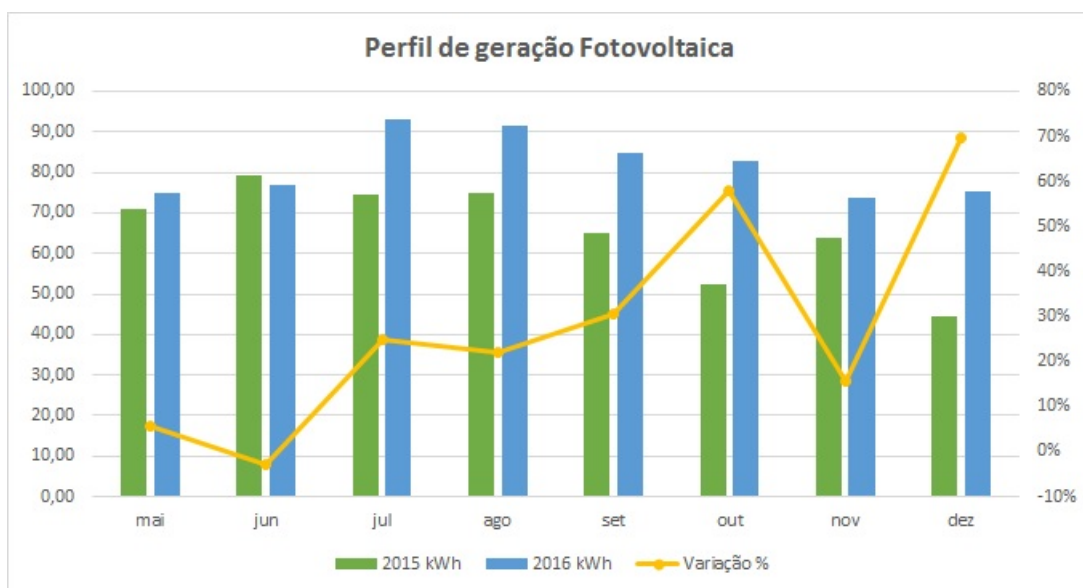


Figura 61: Comparação Geração Fotovoltaica 2015/2016

Na Figura 62 visualiza-se o perfil de energia do prédio do EXCEN no primeiro trimestre de 2016 através das grandezas Tensão (V), Energia (kWh) e Potência Reativa (kVAR). Neste período observa-se uma inconsistência entre fevereiro e março que poderia ser verificada com a ferramenta PI Coresight ou Process Book para uma tomada de decisão, não afetando a operação do sistema elétrico.

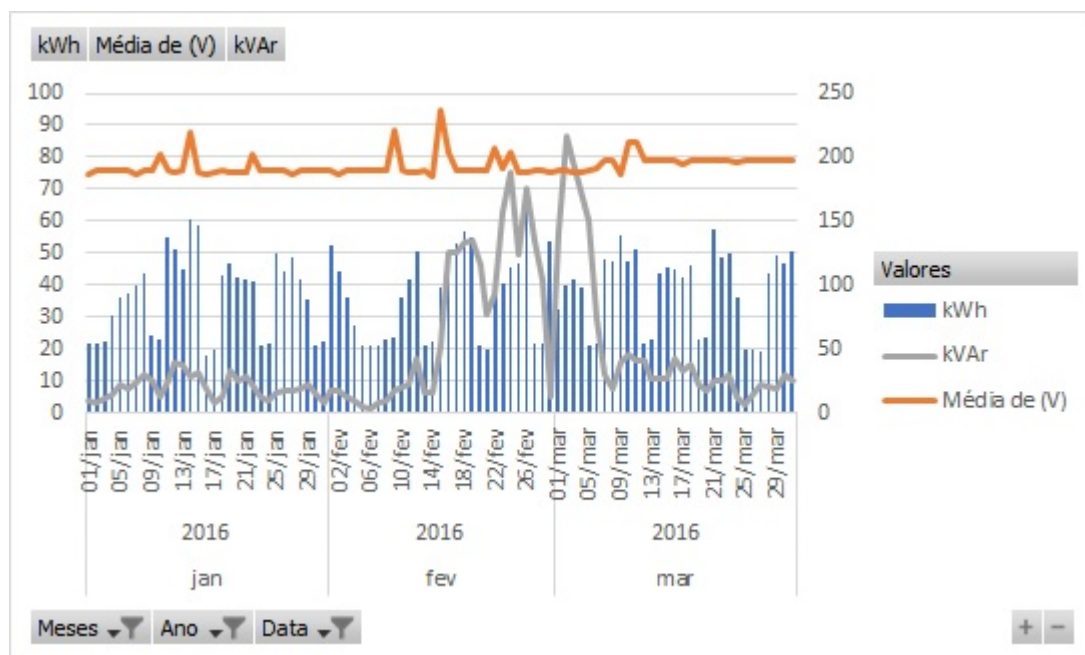


Figura 62: Perfil de Energia EXCEN no primeiro trimestre de 2016

6.5.1 Análises no PI System

Existem muitas ferramentas para transformar os dados do processo bruto em informações de tomada de decisão usando o PI System. Essas ferramentas são referidas como ferramentas de análise ou cálculo implementadas no AF.

- *Performance Equations (PE)*;
- *PI Calculation datasets*;
- *Calculated Data function and PI Expressions*;
- *Formula Data Reference*;
- *Asset Analytics (Analyses)*.

A ferramenta utilizada neste trabalho para a análise de monitoramento do uso da energia foi o Asset Analytics, no qual permite que seja criado e gerenciado análises em cima de seus ativos no AF. Uma análise é um cálculo agendado que obtém valores de

entrada de atributos em qualquer nível de sua hierarquia no AF e exibe seus resultados para outros atributos. A análise de ativos possui três tipos de análise:

- *Expressions*: ampla gama de funções para criar análises poderosas, as expressões utilizam a sintaxe Performance Equation;
- *Rollup*: cálculos de agregação para um grupo de atributos selecionados;
- *Event Frame Generation*: especificam condições para acionar o início e o fim de um evento.

Estas análises fornecem recursos como: historização, preenchimento/re-cálculo, segurança, pré-visualização, testes e opções de agendamento. Toda análise está associada a um elemento e pode ser criada diretamente no elemento selecionado.

6.5.1.1 Indicadores de monitoramento do uso da energia elétrica

Para estas análises foram implementados no PI System através do *Analyses* as metodologias utilizadas no Boletim Energético do câmpus, desenvolvido por [Guardia \(2016\)](#).

O boletim apresenta a metodologia básica usada para os cálculos de indicadores do uso da energia elétrica e indicadores de sustentabilidade, os quais dependem da apuração dos dados setoriais.

"O estudo da Distribuição de Energia Elétrica conceitua a base teórica que caracteriza o uso da energia elétrica, através do equacionamento de fatores típicos da carga. Entre estes fatores típicos utilizados em sistemas de distribuição definem-se: demanda, demanda máxima, fator de diversidade, fator de demanda, fator de utilização, fator de carga, fator de perdas e curva de duração. Além destes fatores que indicam como a energia elétrica está sendo usada, existem outros fatores particulares que podem ser chamados de indicadores de sustentabilidade que avaliam de forma individual ou o conjunto da carga, como parâmetros de produtividade, consumo específico e custo específico" ([GUARDIA, 2016](#)).

6.5.1.2 Fatores da Distribuição

Os fatores da distribuição são fatores típicos da carga que podem ser entendidos a partir das suas definições.

- **Demanda máxima diversificada:** é a diversidade de um conjunto de cargas no tempo (t_a) em que ocorre a sua demanda máxima.

$$Ddiv, max = Ddiv(t_a) = \sum_{i=1}^n Di(t_a) \quad (6.4)$$

- **Fator de diversidade:** é a relação entre a soma das demandas máximas individuais e a demanda máxima do conjunto. Este fator é adimensional e maior que um. Sua correta medida depende da medição individual de todas as unidades do conjunto. Representa quanto a capacidade do conjunto de carga pode ser superior à demanda máxima aferida.

$$fdiv = \frac{\sum_{i=1}^n *Dmax, i}{Ddiv, max} \quad (6.5)$$

- **Fator de coincidência:** é o inverso do fator de diversidade, logo, também adimensional, porém menor que um. Como no fator de diversidade, sua correta medida depende da medição individual de todas as unidades do conjunto. Representa quando foi solicitado da soma das demandas máximas individuais no momento da demanda máxima do conjunto.

$$fcoinc = \frac{1}{fdiv} \quad (6.6)$$

- **Fator de contribuição:** é a relação da demanda individual e a demanda máxima individual no momento que ocorre a demanda máxima do conjunto. Representa quanto foi solicitado de cada carga no momento da demanda máxima do conjunto.

$$fcont = \frac{Di(t_a)}{Dmax, i} \quad (6.7)$$

- **Fator de demanda:** é a relação entre a demanda máxima verificada e a sua carga instalada. Este fator é adimensional e menor que a unidade se a carga opera em condições limitada à capacidade nominal. Havendo sobrecarga, o fator de demanda pode ser maior que um.

$$fdem = \frac{Dmax}{Dnom} \quad (6.8)$$

- **Fator de utilização:** é a relação entre a demanda máxima verificada no sistema e a sua capacidade, em um intervalo de tempo definido. Representa quanto está sendo solicitado da capacidade do sistema pela carga.

$$futil = \frac{Dmax}{C_{sist}} \quad (6.9)$$

- **Fator de carga:** é a relação entre a demanda média e a demanda máxima do sistema ou da carga. Também pode ser obtido pela relação entre a energia e o produto da demanda máxima pelo período observado.

$$f_{carga} = \frac{D_{med}}{D_{max}} = \frac{\int D(t)dt}{D_{max} * \tau} = \frac{E_0^\tau}{D_{max} * \tau} \quad (6.10)$$

- **Fator de perdas:** é a relação entre os valores médio e máximo da potência dissipada em perdas num intervalo de tempo determinado. As perdas podem ser equacionadas como uma função do produto da resistência elétrica dos condutores pelo quadrado da corrente elétrica que passa pelos circuitos. Neste caso é necessário levantar as características dos condutores usados nos circuitos de distribuição.

$$f_{perdas} = \frac{P_{med}}{P_{max}} = \frac{\int P(t)dt}{P_{max} * \tau} = \frac{E_{p0}^\tau}{P_{max} * \tau} \quad (6.11)$$

A caracterização da carga típica dos prédios está relacionada com os seus indicadores próprios, permitindo a comparação de edificações similares.

6.5.1.3 Indicadores de Sustentabilidade

O uso de indicadores de sustentabilidade permite que sejam feitas comparações entre departamentos. Usando a ideia do rateio advindo de medições de grandezas elétricas pelo gerenciador de energia dos setores, as informações energéticas poderão ser calculadas. Fazendo a complementação destas informações com dados de características operacionais, construtivas e de tarifas.

- **Consumo por ocupação:** tendo a ocupação dos prédios como uma característica operacional, o número de servidores e alunos são os principais termos destes indicadores. É de se esperar que ocorra um ganho de escala nestes indicadores conforme se aumenta a ocupação.

$$Consumo_{por\ocupação} = \frac{Energia}{Pessoas} \quad (6.12)$$

- **Consumo por área:** características construtivas como área, tipo de instalação (laboratório, salas de aula, salas administrativas, etc) permitirão que sejam calculados indicadores específicos com o aspecto físico da construção.

$$Consumo\ por\ área = \frac{Energia}{Área\ útil} \tag{6.13}$$

- **Carga por área:** como o consumo específico, a carga específica por unidade de área útil também é um bom comparador de eficiência construtiva com relação ao uso da energia elétrica

$$Carga\ por\ área = \frac{Demanda\ máxima}{Área\ útil} \tag{6.14}$$

6.5.1.4 Implementação das equações no Analyse AF

De acordo com a metodologia utilizada por Guardia (2016), foram configurados no AF tags para receber os valores calculados e atributos para valores estáticos como área do prédio e número de servidores que trabalham no mesmo, apresentadas na Figura 63.

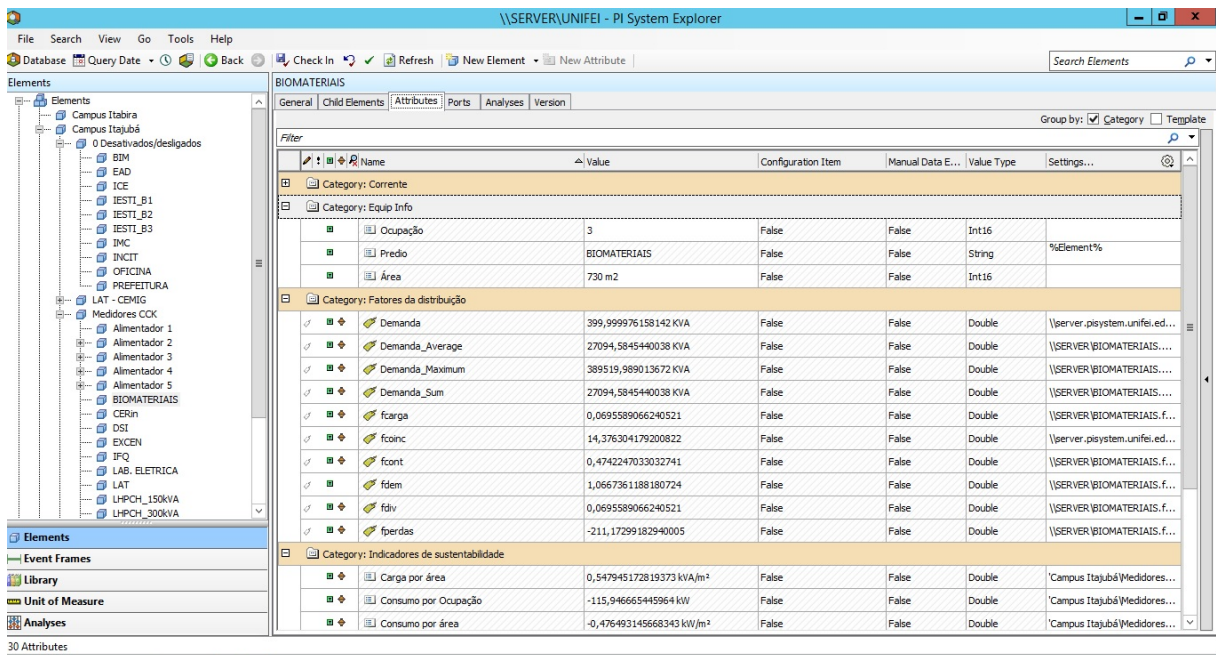


Figura 63: Atributos configurados no Analyse AF

A Figura 64 apresenta as equações citadas acima implementadas no *Asset Analytics*, separadas em Indicadores de Sustentabilidade e Fatores de Distribuição.

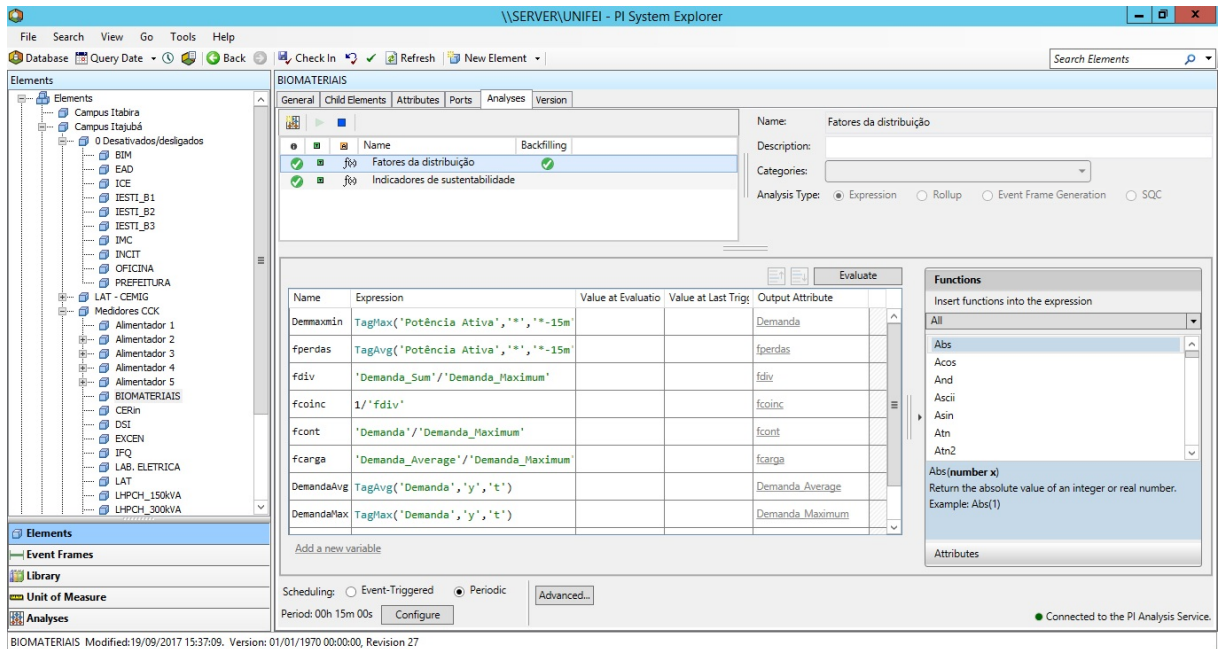


Figura 64: Equações implementadas no AF

Através da ferramenta *Backfill* do AF é possível calcular as equações implementadas para valores antigos armazenados no *Archive* e visualizar os resultados no *Preview* conforme as Figuras 65 e 66.

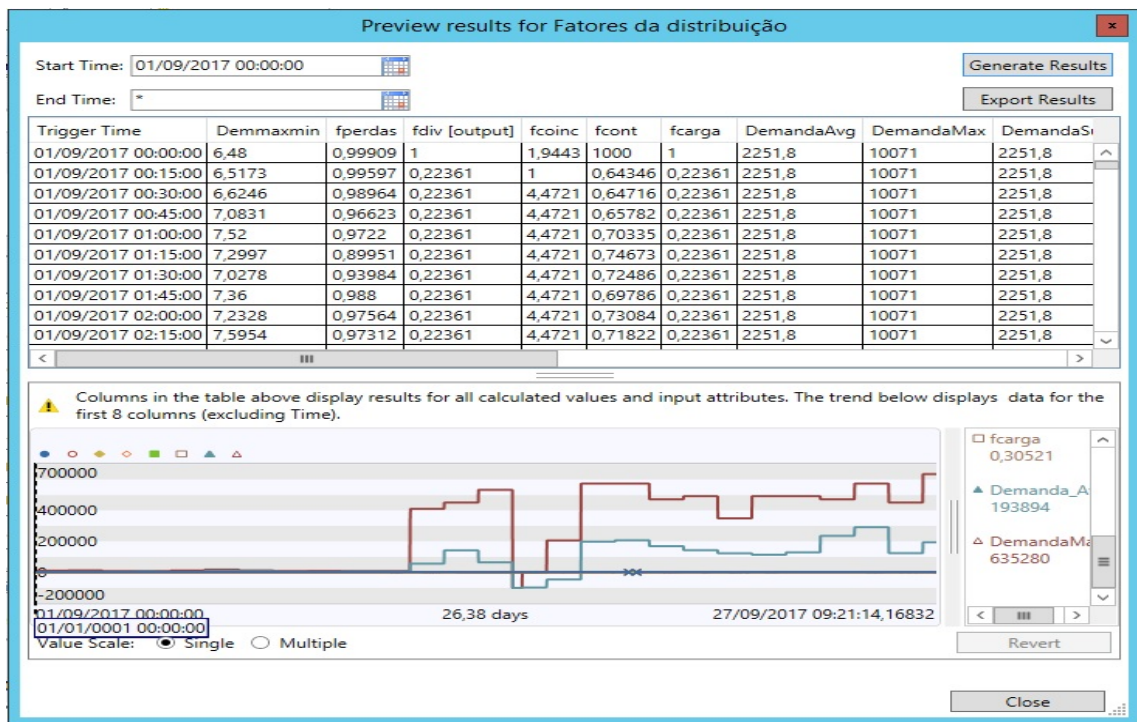


Figura 65: Fatores de Distribuição

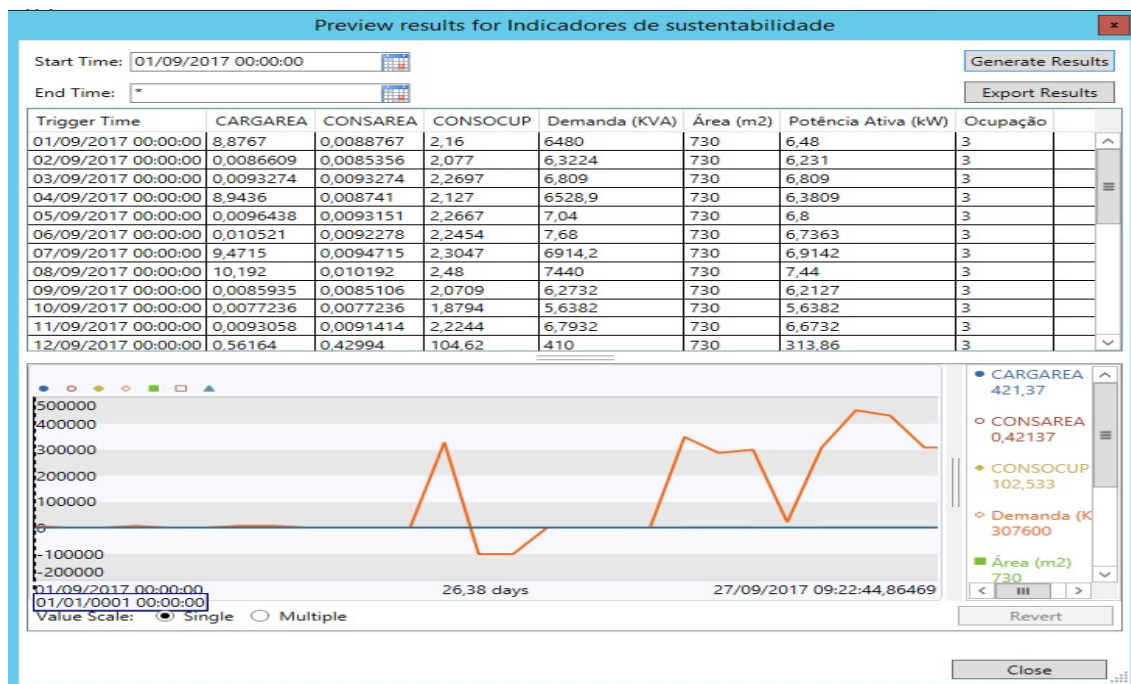


Figura 66: Indicadores de Sustentabilidade

Para validar e visualizar o Boletim Energético, desenvolveu-se uma aplicação no PI Coresight, que são demonstrados os valores de cada atributo e tags relacionados aos Indicadores de Sustentabilidade (Figura 67) e Fatores de Distribuição (Figura 68), e o gráfico para visualização de demanda e potência ativa de cada prédio, Figura 69.



Figura 67: Indicadores de Sustentabilidade PI Coresight



Figura 68: Fatores de Distribuição PI Coresight

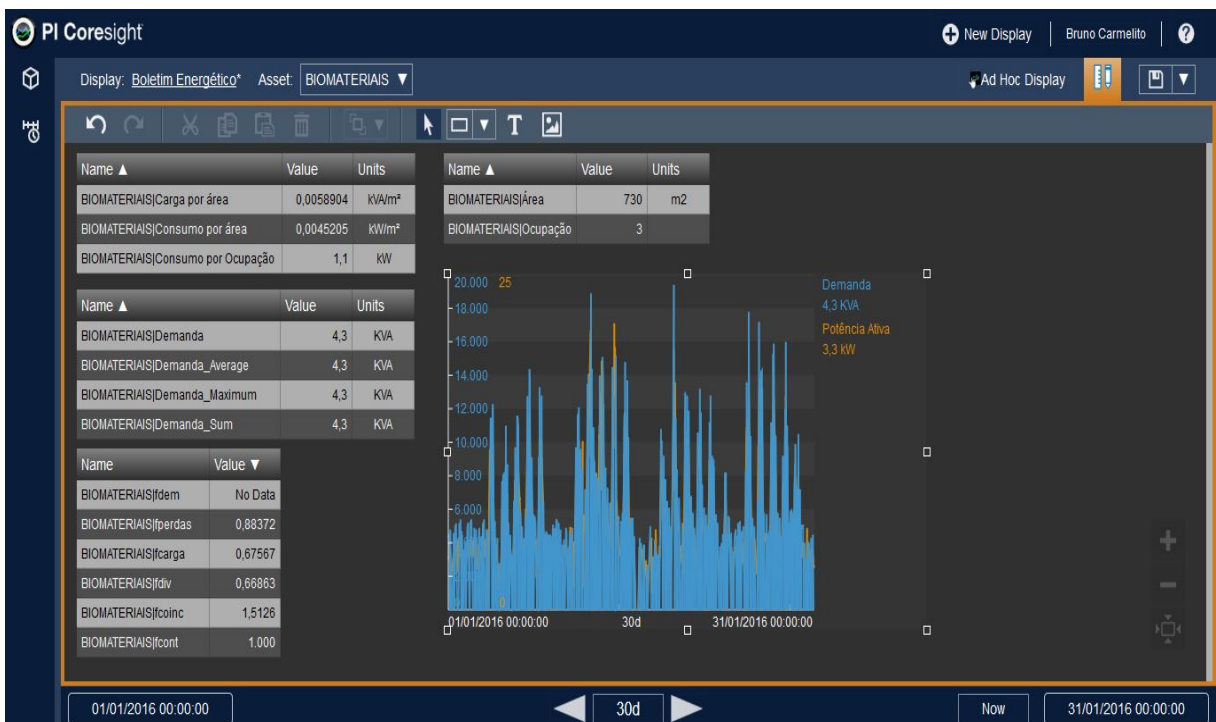


Figura 69: Análise PICoresight

Estas ferramentas se tornam um diferencial ao se realizar análises energéticas e educacionais, com o propósito de maior eficiência, diminuição de perdas e aumento do lucro.

Parte V

Conclusão

Conclusão

O presente trabalho teve por objetivo a implantação de um sistema de gestão energética no câmpus da Universidade Federal de Itajubá com o intuito de integrar todas as camadas da pirâmide de automação. A implantação deste sistema obedeceu todas as camadas da pirâmide, focando nas camadas SCADA e PIMS, onde se encontram os softwares Elipse Power e PI System que foram utilizados no sistema, respectivamente. A utilização do software Elipse Power proporcionara ações diretas no sistema elétrico do câmpus, além da monitoramento remoto.

O software PI System mostrou-se perfeitamente capaz para o que foi proposto na camada PIMS: captura, armazenamento de dados, análises em tempo real, correlação de diversas grandezas e utilização das ferramentas clientes por vários usuários. Além de ser muito robusto, o PI System possui diversas aplicações, não ficando restrita apenas à indústria.

Através das duas ferramentas utilizadas mencionadas acima observou que foi possível atender os objetivos do trabalho proposto, que eram a integração dos medidores de energia e sistemas fotovoltaicos do câmpus, desenvolvimento do supervisório para controle de demanda e a correlação dos dados armazenados em alta velocidade.

Outro aspecto importante considerado no trabalho foi o aprimoramento da capacidade estratégica e planejamento, apoiando análises de dados sofisticados para uso no auxílio na tomada de decisões. Sendo assim pôde-se concluir que o presente estudo proporcionou melhoraria no acesso à informação, acesso aos dados em tempo real, planejamento e gerenciamento energético da instituição.

A partir do sistema implantado espera-se observar melhoras no acesso às informações com a integralização de todos os dados em um único sistema, assim tornar mais eficaz o monitoramento e diagnóstico. Tornando as informações acessíveis e visíveis aos dados, espera haver uma mudança de comportamento de toda comunidade acadêmica. Tal mudança proporcionara melhorar a eficiência do uso das energias, aumentando a capacidade das pessoas em influenciar os resultados.

Além desses pontos mencionados o sistema apresenta características que subsidiam futuras pesquisas em diversas as áreas, trazendo maiores benefícios para a instituição.

6.6 Trabalhos Futuros

Futuramente, espera-se que todos os edifícios do câmpus tenham seu consumo e geração energética historizados para o software PI System com a instalação de novos

medidores de energia. Também, informações relevantes como água, telefonia, internet, dados meteorológicos do SADA e informações estratégicas do Sistema Integrado de Gestão (SIG) precisam ser historizadas no PI System, a fim de realizar análises financeiras e educacionais.

A utilização do software Elipse Power proporcionará trabalhos futuros como: controle de demanda, acionamento automático do grupo gerador a diesel, controle de cargas (redução do setpoint dos sistemas de ar condicionado), controle de banco de capacitores, etc. Espera-se também que tenha um constante desenvolvimento através do software Power BI para análises mais avançadas dentro da instituição.

Referências

- ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: a definition. *Electric power systems research*, Elsevier, v. 57, n. 3, p. 195–204, 2001. Citado na página 27.
- ALBUQUERQUE, P. U. B. d.; ALEXANDRIA, A. R. d. Redes industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído. *Editora Ensino Profissional. 2a edição*, 2009. Citado na página 40.
- BOTELHO, F. R.; FILHO, E. R. Conceituando o termo business intelligence: Origem e principais objetivos. 2014. Citado na página 47.
- CARVALHO, F. B. de; FONSECA, M. de O.; FILHO, C. S. Sistemas pims-conceituação, usos e benefícios. 2003. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 44.
- CATÁLOGO, A. *ABNT NBR ISO 50001: 2011*. 2011. Citado 3 vezes nas páginas 7, 25 e 26.
- DECKER, B.; JAHN, U. Performance of 170 grid connected pv plants in northern germany—analysis of yields and optimization potentials. *Solar Energy*, Elsevier, v. 59, n. 4-6, p. 127–133, 1997. Citado na página 82.
- DEPURU, S. S. S. R.; WANG, L.; DEVABHAKTUNI, V. Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status. *Renewable and sustainable energy reviews*, Elsevier, v. 15, n. 6, p. 2736–2742, 2011. Citado na página 35.
- DIAS, M. V. X.; BORTONI, E. d. C.; HADDAD, J. Geração distribuída no brasil: oportunidades e barreiras. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO BRASÍLIA. *CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO*. [S.l.], 2006. v. 5. Citado na página 27.
- DIVYA, B.; REDDY, K. B. N. K.; RADHIKA, V. Deployment of distributed energy resources in distribution systems using fuzzified improved particle swarm optimization. 2015. Citado na página 27.
- EKANAYAKE, J. B. et al. *Smart grid: technology and applications*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012. Citado na página 16.
- ENERGÉTICA, E. de P. Balanço energético nacional. *Rio de Janeiro*, 2017. Citado na página 29.
- ESRAM, T.; CHAPMAN, P. L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on energy conversion*, IEEE, v. 22, n. 2, p. 439–449, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 30.
- GOMES, B. S. *Automação e robótica nas indústrias brasileiras: um estudo exploratório*. Tese (Doutorado), 2004. Citado na página 22.
- GRUENSPECHT, H. International energy outlook 2011. *Center for Strategic and International Studies*, 2010. Citado na página 24.

- GUARDIA, E. C. *Boletim Energético: Metodologia e indicadores de monitoramento do uso da energia elétrica no campus da UNIFEI Itajubá*. [S.l.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas 88 e 91.
- ISA. *Enterprise-Control System Integration Part 1: Models and Terminology*. 2010. Citado 3 vezes nas páginas 7, 23 e 43.
- LACHEV, T.; PRICE, E. *Applied Microsoft Power BI: Bring your data to life!* [S.l.]: Prologika Press, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 7, 48 e 49.
- LUGÃO, R. G.; ABRANTES, L. A.; JÚNIOR, A. C. B. Planejamento, implementação e avaliação do reuni: Um estudo em universidades mineiras. *Estudo & Debate*, v. 22, n. 1, 2015. Citado na página 17.
- MACKIEWICZ, R. Overview of iec 61850 and benefits. In: IEEE. *Power Systems Conference and Exposition, 2006. PSCE'06. 2006 IEEE PES*. [S.l.], 2006. p. 623–630. Citado na página 41.
- MAHMOUD, M. et al. Production operation management using manufacturing execution systems (mes). In: IEEE. *Computer Engineering Conference (ICENCO), 2015 11th International*. [S.l.], 2015. p. 111–116. Citado na página 43.
- MARQUES, L. T. Análise da relação entre os indicadores de desempenho e as variações das despesas públicas em universidades federais de ensino superior. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado na página 17.
- MASSON, G.; LATOUR, M.; BIANCARDI, D. Global market outlook for fotovoltaics until 2016. *European Photovoltaic Industry Association*, v. 5, 2012. Citado na página 28.
- MUSARRA, B. C. *Automação de subestações-sistema automático de alívio de carga*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 7, 41 e 42.
- NAWAZ, M. N.; CHANNAKESHAVALU, K. The impact of enterprise resource planning (erp) systems implementation on business performance. 2013. Citado na página 39.
- NEDELICU, B. et al. Business intelligence systems. *Database Systems Journal, Academy of Economic Studies-Bucharest, Romania*, v. 4, n. 4, p. 12–20, 2013. Citado na página 47.
- OSISOFT, P. *Historian*. 2016. Citado 6 vezes nas páginas 7, 8, 45, 46, 47 e 65.
- PINTO, Á. B. A. *PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 25.
- POLLOCK, N.; CORNFORD, J. Implications of enterprise resource planning systems for universities: An analysis of benefits and risks. *Observatory on Borderless Higher Education*, 2005. Citado na página 18.
- PROTOCOL, M. M. *Reference Guide*. [S.l.], 1996. Citado 3 vezes nas páginas 7, 37 e 38.
- RÜTHER, R. *Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil*. [S.l.]: Editora UFSC, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

- SALVADOR, M.; SILVA, A. d. *O que São Sistemas Supervisórios*. [S.l.]: Porto Alegre: Eclipse Software Ltda, 2005. Citado na página 40.
- SANTOS, M. R. dos; COSTA, F.; VOESE, S. B. Causas da (não) utilização de sistemas de apuração de custos pelas instituições federais de ensino superior. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. [S.l.: s.n.], 2016. Citado na página 17.
- SÃO, P. T. d. E. de. *LEONARDO BRIAN FAVATO*. Tese (Doutorado) — Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005. Citado na página 80.
- SAUTER, T.; LOBASHOV, M. End-to-end communication architecture for smart grids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 58, n. 4, p. 1218–1228, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 9, 36 e 37.
- SCHUMANN, A. Mes—integrated production control for batch plants. In: IEEE. *Control Conference (ECC), 1999 European*. [S.l.], 1999. p. 4830–4835. Citado na página 42.
- SHAMSHIRI, M.; GAN, C. K.; TAN, C. W. A review of recent development in smart grid and micro-grid laboratories. In: IEEE. *Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO) Melaka, Malaysia, 2012 IEEE International*. [S.l.], 2012. p. 367–372. Citado na página 16.
- SHOUP, D. Parking on a smart campus. *California Policy Options*, p. 117–149, 2006. Citado na página 18.
- SOUZA, A. J. d. *Sistema de gerência de informação de processos industriais via Web*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005. Citado na página 42.
- SRINIVASAN, S.; KOTTA, U.; RAMASWAMY, S. A layered architecture for control functionality implementation in smart grids. In: IEEE. *Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2013 10th IEEE International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 100–105. Citado na página 15.
- SU, K.; LI, J.; FU, H. Smart city and the applications. In: IEEE. *Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1028–1031. Citado na página 18.
- SUNDORPH, E.; MOSSERI-MARLIO, W. *Smart campuses: How big data will transform higher education*. [S.l.]: Reform, 2016. Citado na página 18.
- TELUKDARIE, A. Mes to erp integration: Rapid deployment toolset. In: IEEE. *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2016 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 1030–1035. Citado na página 43.
- TIMILSINA, G. R.; KURDGELASHVILI, L.; NARBEL, P. A. Solar energy: Markets, economics and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 16, n. 1, p. 449–465, 2012. Citado na página 29.
- TOLEDO, F. *Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes-Smart Grid Handbook*. [S.l.]: Brasport, 2012. Citado na página 34.
- VIANA, A. et al. Eficiência energética: fundamentos e aplicações. *1a. ed. Campinas, SP: PEE-Programa de Eficiência Energética ANEEL*, 2012. Citado na página 75.

VICENTE, E. M. Sistema de mppt para painéis fotovoltaicos com baixa complexidade e alto rendimento. 2015. Citado na página 31.

VIEIRA, J. J.; SILVA, P. A. da; VIEIRA, A. L. da C. A política de educação a distância e o aumento das vagas nas instituições de ensino superior: apontamentos. *Revista on line de Política e Gestão Educacional*, p. 776–792, 2017. Citado na página 18.

ZILLES, R. et al. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.

ZORNADA, L.; VELKAVRH, T. B. Implementing erp systems in higher education institutions. In: IEEE. *Information Technology Interfaces, 2005. 27th International Conference on*. [S.l.], 2005. p. 307–313. Citado na página 19.

Anexos

ANEXO B – Datasheet Inversor FRONIUS GALVO

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



SHIFTING THE LIMITS

FRONIUS GALVO

/ The future-proof inverter for small self-consumption systems.



/ SnapInverter Technology



/ HF transformer switchover



/ Integrated data communication



/ Smart Grid Ready



/ With power categories ranging from 1.5 to 3.1 kW, the Fronius Galvo is perfect for households – and is especially suitable for self-consumption systems. The integrated energy management relay allows the self-consumption component to be maximised. A host of other smart features make the Fronius Galvo one of the most future-proof inverters in its class: for example, the integrated datalogging, the simple connection to the internet by WLAN, or the plug-in card technology for retrofitting additional functions.

TECHNICAL DATA FRONIUS GALVO

INPUT DATA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Max. input current ($I_{dc,max}$)	13.3 A	17.8 A	16.6 A	19.8 A	20.7 A
Max. array short circuit current	20.0 A	26.8 A	24.8 A	29.6 A	31.0 A
Min. input voltage ($U_{dc,min}$)	120 V			165 V	
Feed-in start voltage ($U_{dc,start}$)	140 V			185 V	
Nominal input voltage ($U_{dc,n}$)	260 V			330 V	
Max. input voltage ($U_{dc,max}$)	420 V			550 V	
MPP voltage range ($U_{mpp,min} - U_{mpp,max}$)	120 - 335 V			165 - 440 V	
Number of MPP trackers			1		
Number of DC connections			3		
OUTPUT DATA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
AC nominal output ($P_{ac,n}$)	1,500 W	2,000 W	2,500 W	3,000 W	3,100 W
Max. output power	1,500 VA	2,000 VA	2,500 VA	3,000 VA	3,100 VA
AC output current ($I_{ac,nom}$)	6.5 A	8.7 A	10.9 A	13.0 A	13.5 A
Grid connection (voltage range)			1-NPE 230 V (+17 % / -20 %)		
Frequency (frequency range)			50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Total harmonic distortion			< 4 %		
Power factor ($\cos \varphi_{ac,n}$)			0.85 - 1 ind. / cap.		
GENERAL DATA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 ¹⁾	GALVO 3.1-1
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm				
Weight	16.4 kg		16.8 kg		
Degree of protection	IP 65				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC) ²⁾	2 / 3				
Night-time consumption	< 1 W				
Inverter concept	HF transformer				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation				
Ambient temperature range	-25 - +50 °C				
Permitted humidity	0 to 100 %				
Max. altitude	2,000 m / 3,500 m (unrestricted / restricted voltage range)				
DC connection technology	Screw terminal connection 2.5 mm ² - 16 mm ²				
AC connection technology	Screw terminal connection 2.5 mm ² - 16 mm ²				
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ONORM E 8001-4-712, AS 4777-2, AS 4777-3, AS3100, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1-2, IEC 62116, IEC 61727, CER 06-190, CEI 0-21, EN 50438, G83, G59, NRS 097				

¹⁾ Available for countries where 3 kW restrictions apply. ²⁾ Testing to IEC 62109-1.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at www.fronius.com.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



FRONIUS IG PLUS

/ The allrounder with maximum yield.

/ Fronius
MIXT™ technology/ HF transformer
switchover/ WLAN
interface/ Smart Grid
Ready

/ The Fronius IG Plus generation of inverters represents an evolution of the proven Fronius IG product family. Power categories from 3.5 to 12 kW promise suitability for every possible system size. With a maximum efficiency of 95.9 %, the Fronius IG Plus range achieves one of the highest values for transformer inverters.

TECHNICAL DATA FRONIUS IG PLUS (35 V-1, 50 V-1, 55 V-1, 60 V-1, 55 V-2)

INPUT DATA	35 V-1	50 V-1	55 V-1	60 V-1	55 V-2
DC maximum power at $\cos \varphi = 1$	3,710 W	4,260 W	5,260 W	6,320 W	5,260 W
Max. input current ($I_{dc \max}$)	16.2 A	18.6 A	22.9 A	27.5 A	22.9 A
Max. array short circuit current	24.3 A	27.9 A	34.4 A	41.3 A	34.4 A
Min. input voltage ($U_{dc \min}$)	230 V				
Feed-in start voltage ($U_{dc \text{ start}}$)	260 V				
Nominal input voltage ($U_{dc \text{ r}}$)	370 V				
Max. input voltage ($U_{dc \max}$)	600 V				
MPP voltage range ($U_{mpp \min} - U_{mpp \max}$)	230 - 500 V				
Number of DC inputs	6				
OUTPUT DATA	35 V-1	50 V-1	55 V-1	60 V-1	55 V-2
AC nominal output ($P_{ac \text{ r}}$)	3,500 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	5,000 W
Max. output power	3,500 VA	4,000 VA	5,000 VA	6,000 VA	5,000 VA
Max. output current ($I_{ac \max}$)	15.2 A	17.4 A	21.7 A	26.1 A	10.9 A
Grid connection ($U_{ac \text{ r}}$)	1-NPE 230 V				2-NPE 400 V / 230 V
Min. output voltage ($U_{ac \min}$)	180 V				
Max. output voltage ($U_{ac \max}$)	270 V				
Frequency (f_t)	50 Hz / 60 Hz				
Frequency range ($f_{\min} - f_{\max}$)	46 - 65 Hz				
Distortion factor	< 3 %				
Power factor ($\cos \varphi_{ac \text{ r}}$)	0.75 - 1 ind. / cap. ¹⁾				
GENERAL DATA	35 V-1	50 V-1	55 V-1	60 V-1	55 V-2
Dimensions (height x width x depth)	673 x 434 x 250 mm			968 x 434 x 250 mm	
Weight	23.8 kg			36.9 kg	
Degree of protection	IP 54 ²⁾				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC)	2 / 3				
Night time consumption	ca. 1 W				
Inverter concept	HF transformer				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation				
Ambient temperature range	from -20°C to +55°C				
Permitted humidity	0 % to 95 %				
DC connection technology	Screw terminal connection 1.5 mm ² - 16 mm ²				
AC connection technology	Screw terminal connection 2.5 mm ² - 35 mm ²				
Certificates and compliance with standards	DIN V VDE V 0126-1-1, ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, UTE C15-712-1, EN 50438, C83, G59, C 10 / 11, CER 06-190, CEI 0-21, AS 4777-1, AS 4777-2, AS 4777-3, VDE AR N 4105, Generating systems on the medium-voltage network (BDEW)				

Fronius IG Plus 55 V-1, Fronius IG Plus 55 V-2 and Fronius IG Plus 60 V-1 devices do not comply with the German medium-voltage directive. Fronius IG Plus 55 V-1 and Fronius IG Plus 60 V-1 are not certified in accordance with the German low-voltage directive. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at www.fronius.com.
¹⁾ country-specific ²⁾ Please refer to the information in the operating instructions regarding correct installation of the inverter (e.g. IP 44 applies to Australia).