



ANDREY WILLIAN MARQUES PINTO

**ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE HARMÔNICOS NA REDE
PROVINDO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS**

LAVRAS – MG

2019

ANDREY WILLIAN MARQUES PINTO

**ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE HARMÔNICOS NA REDE PROVINDO DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. DSc. Fábio Domingues de Jesus

Orientador

LAVRAS – MG

2019

ANDREY WILLIAN MARQUES PINTO

**ANÁLISE DA INCIDÊNCIA DE HARMÔNICOS NA REDE PROVINDO DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS
ANALYSIS OF THE HARMONIC INCIDENCE ON ELECTRIC NETWORK
PROVIDED OF PHOTOVOLTAIC BOARD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de Junho de 2019.

Prof. DSc. Fábio Domingues de Jesus DAT - UFLA
Prof. MSc. Marcio Wladimir Santana CEFET - NEPOMUCENO
Prof. Dsc Vinícius Miranda Pacheco DAT - UFLA

Prof. DSc. Fábio Domingues de Jesus
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Dedico este trabalho a minha avó Luzia, onde o maior sonho dela era de ver seu filho e netos formados em uma faculdade!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais Amaury e Gilma, por desde o início me educarem e seguir o caminho dos estudos, me preparando para a vida e prestando todo apoio que necessitei sendo educacional e pessoal, a vocês amo muito. Gostaria de agradecer a minha irmã Talyta, por sempre prestar suporte, seja por experiências acadêmicas ou experiências pessoais, que agregam ao meu caráter e fazem a ser o homem que sou. Gostaria de agradecer aos meus padrinhos Robson Dias e Vilma Borges, por sempre estarem comigo, seja dando conselhos ou apoiando para que continue na minha caminhada. Prestar também homenagens a todos meus familiares, que sempre incentivaram a continuar a jornada, mesmo estando longe de todos.

Para as pessoas que conheci em Lavras, em primeiro ao Fernando Elias, Ana Gabriela e ao André Luis (Gaúcho), que estão em minha vida acadêmica, desde os primeiros dias na cidade, dando apoio emocional, acadêmico e principalmente pela convivência no dia a dia. Gostaria de agradecer também por estarem comigo seja em momentos de descontração ou como estudo a Eduardo Afonso (Mohamed), Wesley Ribeiro (B3), Artur Passos (Groove), Cris Soares, Barbara Andreatta (Rabeca), Victor Cardoso, Paula Giarolla, Flavio Rocha (Flavinho), Tiago Rezende (Tiagão), Mateus Viza, Ivana Damasceno, Stefanni Cristine, Robson Rosserrani, Juscicleide Neres, Ju (Daiani) Neres, Wilian Henrique (Macuco), Mateus Bilisario, Geraldo Moreira, Alex Pereira, Thalita Keli, Jorge Batassim (este último principalmente também pela imensa ajuda no desenvolvimento deste trabalho). Duas pessoas que conheci em Lavras e que tenho que agradecer bastante, não apenas pelo convívio (mesmo que breve), mas pelos conselhos e amizade são Lilian Benedick e Letícia Kleinhains. As tantas outras pessoas que conheço e conheci na faculdade, agradeço imensamente por estarem também em minha vida.

Gostaria de agradecer pôr fim aos professores Fábio Domingues e Marcio Wladimir pelo suporte ao desenvolvimento deste trabalho, ao professor Danton Ferreira, por ter sido por mais de dois anos meu orientador de iniciação científica, e se tenho conhecimentos valiosos à pesquisa é por contar do projeto desenvolvido. Também quero gratificar ao meu orientador de bolsa técnica Anderson Bernado e o pessoal da DGTI, por me aceitarem a fazer parte deste departamento da universidade, e pôr fim aos técnicos Bruno Vicentini, Fabiano Ferreira e Alexandre Silva por sempre ajudarem no desenvolvimento de trabalhos ao longo do curso.

RESUMO

Com o crescimento do consumo por energia elétrica, principalmente pelo aumento populacional e industrial, novas buscas por meios de geração de energia se desenvolvem. Em conjunto com esta busca, ocorre também a conscientização de produção limpa, sem prejudicar a natureza com emissões de poluentes ao meio. Com a junção destes dois objetivos, um tipo de usina que vem crescendo, produzindo energia elétrica limpa, são as Usinas Fotovoltaicas. A principal vantagem deste tipo de produção é aproveitar uma fonte de energia diária, no caso a solar. Para se realizar essa geração são necessárias as placas solares, que convertem a energia solar em elétrica. O objetivo deste trabalho é a verificação da qualidade desta produção de energia renovável, com o fim de compreender se com o advento desta nova tecnologia, está criando benefícios ou prejudicando a rede como um todo. Para esta verificação, se analisará em quatro pontos, sendo a tensão, corrente, Distorção de Harmônicas Totais (THD) tanto da corrente quanto para tensão. Para o estudo destas usinas, dois pontos foram escolhidos nas localidades do município de Lavras/MG. Precisamente dentro da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e na Associação de Docentes da Universidade Federal de Lavras (ADUFLA), nos meses de Abril e Maio de 2019. Como resultados das avaliações, nos períodos de coleta, se desenvolveram grandes produções de energia e de certa qualidade, principalmente em função de corrente e THD de tensão, a ponto das mesmas conseguirem suprir as redes internas e vender para distribuidora de energia. Entretanto, ocorreram poluições na rede, principalmente no âmbito de distorções de harmônicos na corrente, que apresentaram valores maiores que o aceitável pelas normativas da concessionária.

Palavras-chave: Qualidade de Energia. Detecção de Harmônicos. Placas Fotovoltaicas.

ABSTRACT

The grow of electrical energy consumer, principal by population and industry rise, new ways to produce this energy generation developed. In union with this search, it happens to the awareness of clean production, without damage to nature with pollutant emissions. Whit the same targets together, a type of business has grown, producing clean electrical energy, it is the Photovoltaic Usines. The principal advantage of this production is to enjoy of a diary energy source, solar in this case. For this generation, the necessary is only solar boards, that converge the solar energy in electrical. The goal of this work is the quality verification of this renewable energy production, to understand if this new technology, it creates benefits or impairing the net for all. For this verification, four points will be analyzed, like the tension, current, Total Harmonic Distortion (THD) for current and tension. By the study of this business, two points are chosen in the locations of municipal Lavras/MG. These two locations are the Universidade Federal de Lavras (UFLA) and the Associação dos Docentes da Universidade Federal de Lavras (ADUFLA), in the mouths of April and May of 2019. The evaluation of results, in the collect periods, are developed big productions of energy and with relative quality, principal by the function of current and tension THD, to the point of the same can supply the internal electrical net and sell to the energy distributor. However, it happens pollution's in the net, focuses on the scope of Total Harmonics Distortion by current, showing the biggest values than accepted by concessionaires norms.

Keywords: Power Quality. Harmonic Detection. Photovoltaic Boards

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Curva Corrente por Tensão demonstrando incidências solares diferentes com a temperatura de 25 °C	13
Figura 2.2 – Forma de conexão do acessante (através de inversor) à rede da Concessionária.	15
Figura 2.3 – Limites para distorção de harmônica na rede elétrica	17
Figura 2.4 – Limites para distorção de harmônica na corrente para Baixa e Média Tensão	19
Figura 2.5 – Limites para distorção de harmônica na corrente para Alta Tensão	19
Figura 3.1 – Analisador de Qualidade de energia PowerNet P600	20
Figura 3.2 – Case aberto do Analisador de Qualidade	21
Figura 3.3 – Planta Fotovoltaica da UFLA	22
Figura 3.4 – Inversores utilizados	24
Figura 3.5 – Montagem elétrica do medidor com o sistema de placas fotovoltaicas	24
Figura 3.6 – Primeiro sistema com 18 Placas solares distribuídos.	26
Figura 3.7 – Segundo e o terceiro sistema, cada qual com 16 Placas solares distribuídos para cada.	26
Figura 3.8 – Sistema de Inversores utilizados para placas fotovoltaicas.	28
Figura 3.9 – Sistema de Proteção CC.	29
Figura 3.10 – Esquema elétrico de ligação da planta solar com sistema comum de energia da CEMIG.	30
Figura 3.11 – Montagem em campo do sistema de medição de energia na ADUFLA.	30
Figura 4.1 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da UFLA	32
Figura 4.2 – Identificação dos Dados Coletados de Tensão em um Período Específico de Coleta	33
Figura 4.3 – Dados coletados de Corrente da usina fotovoltaica na UFLA	34
Figura 4.4 – Dados coletados de Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 11 de Abril	35
Figura 4.5 – Dados coletados de THD de Tensão na Usina Fotovoltaica da UFLA	35
Figura 4.6 – Dados coletados de THD de Tensão na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 11 de Abril	36
Figura 4.7 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA	37
Figura 4.8 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 11 de Abril	37

Figura 4.9 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 15 de Abril	38
Figura 4.10 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA	39
Figura 4.11 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA	40
Figura 4.12 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio	41
Figura 4.13 – Dados coletados de Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA	42
Figura 4.14 – Dados coletados de Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio	42
Figura 4.15 – Dados coletados de THD da Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA	43
Figura 4.16 – Dados coletados de THD da Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio	43
Figura 4.17 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA	44
Figura 4.18 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio	44
Figura 4.19 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 07 de Maio	45
Figura 4.20 – Dados coletados de Potência Ativa na Usina Fotovoltaica da ADUFLA	46
Figura 4.21 – Dados coletados de Potência Ativa na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Detalhes Técnicos de cada Painel Solar	22
Quadro 3.2 – Detalhes Técnicos dos Inversores	23
Quadro 3.3 – Detalhes Técnicos de cada Painel Solar da ADUFLA	25
Quadro 3.4 – Detalhes Técnicos dos Inversores	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Geração de energia por Placas Fotovoltaicas	12
2.1.1	Regulamentação de inserção de placas fotovoltaicas pela distribuidora elétrica	13
2.2	Qualidade de Energia Elétrica	15
2.3	Placas Fotovoltaicas e a Qualidade da Energia Elétrica na Rede	17
3	METODOLOGIA	20
3.1	Coleta de dados das Placas Fotovoltaicas da UFLA	22
3.1.1	Inversores utilizados na UFLA	22
3.1.2	Realização das coletas de dados na UFLA	23
3.2	Coleta de dados das Placas Fotovoltaicas da ADUFLA	25
3.2.1	Inversores utilizados na ADUFLA	27
3.2.2	Realização das coletas de dados na ADUFLA	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	Coleta de dados na Usina Fotovoltaica da UFLA	32
4.1.1	Avaliação da Tensão no Período de Coleta	32
4.1.2	Avaliação da Corrente no Período de Coleta	34
4.1.3	Avaliação do THD da Tensão no Período de Coleta	35
4.1.4	Avaliação da THD da Corrente no Período de Coleta	36
4.2	Coleta de dados na ADUFLA	39
4.2.1	Avaliação da Tensão no Período de Coleta	39
4.2.2	Avaliação da Corrente no Período de Coleta	41
4.2.3	Avaliação do THD da Tensão no Período de Coleta	42
4.2.4	Avaliação da THD da Corrente no Período de Coleta	43
4.2.5	Avaliação da Demanda no Período de Coleta	46
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A partir do crescimento populacional e industrial, a necessidade por energia elétrica vem crescendo cada vez mais. O alto consumo de energia residencial, provindo de eletrodomésticos, iluminação e aquecimento, como também industrial, pelos motores de indução trifásicos e aquecimento de fornos elétricos, demonstram como o consumo cada vez se incrementa. Para isso, novas fontes de energia são necessárias para o abastecimento, principalmente porque ainda trabalha-se em maior quantidade por hidrelétricas.

Como solução ao baixo custo, mantendo a premissa de energias renováveis e produção limpa (sem a emissão de gases tóxicos), as placas fotovoltaicas são apresentadas. O diferencial desta produção de energia é utilizar a irradiação do Sol para transformação em energia elétrica. Por esse tipo de produção, é o que leva a cada vez se encontrar mais placas sendo implementadas em residências ou até mesmo em indústrias. O sistema por si, é de custo baixo, pois radiação solar ocorre em todos os dias e a instalação é apenas uma vez. Vale salientar que as companhias de distribuição de energia elétrica, já permitem venda da energia gerada no local para a rede, o que para o consumidor, representa em economia nas contas de energia.

Entretanto, com a admissão de novas fontes de energia para rede, existe também a preocupação de como ela pode influenciar em negativo. Essas investigações é uma das premissas para a qualidade de energia. A avaliação da qualidade, é um fator necessário para a distribuição, já que uma falha nas ondas de transmissão de energia, para os materiais que dependem desta fonte de energia, pode ter como resultado, o mal funcionamento do equipamento ou até à falha do mesmo. Um dos pontos de análise nesta qualidade é na verificação dos harmônicos na rede. Para uma transmissão ideal, a quantidade destes harmônicos, tem de ser as menores possíveis, já que a adição dos mesmos, representa distorções nas ondas de energia, equivalendo a uma sobrecarga no sistema e aquecimento maior nos cabos de transmissão.

1.1 Objetivos

Dos objetivos a serem desenvolvidos neste trabalho, o principal é a verificação de harmônicos inseridos na rede pelas placas fotovoltaicas. Outra análise que será realizado, é o índice de tensão que os sistemas se encontram. Para a coleta das amostras, utiliza-se de um analisador de qualidade de energia da empresa IMS o PowerNet P600 G1. No caso o mesmo é introduzido na planta elétrica das placas fotovoltaicas, para que possa realizar a coleta dos dados em um período de sete dias (uma semana). Nesta coleta, ocorre a verificação de tensões e correntes nas

fases elétricas do circuito. Nesta verificação, é aonde o aparelho, apresenta a função de verificar os harmônicos do sistema em que ele está alocado, permitindo a visualização momentânea ou posterior a medição.

Será feita a coleta de dados e introdução do aparelho em duas diferentes plantas, sendo uma dentro da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a segunda dentro da Associação dos Docentes da Universidade Federal de Lavras (ADUFLA).

Para finalização de objetivos, apresentar dados concretos se essas placas estão adicionando harmônicos na rede elétrica, e quais os possíveis impactos a serem causados quando um sistema de várias gerações de energia, provindas das placas fotovoltaicas, interferem na qualidade de energia elétrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Geração de energia por Placas Fotovoltaicas

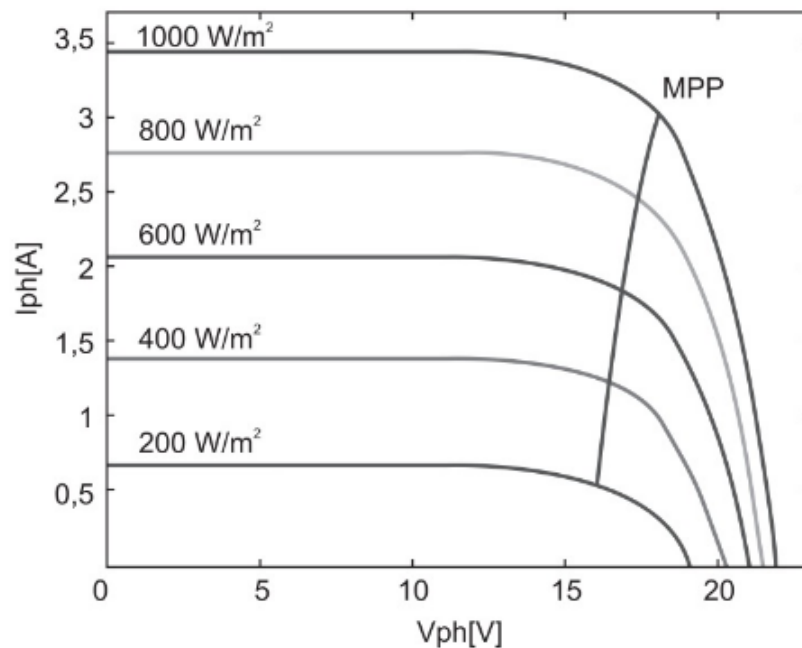
Com o crescimento populacional cada vez maior, bem como maior número de empresas se constituindo a necessidade por energia também vem se incrementando. Isso se deve ao fato, de maiores necessidades por eletrodomésticos e iluminação dos moradores, mas também pelo aumento na quantidade de máquinas de alta potência, seja ela motores de indução, CC (Corrente Contínua) e até fornos elétricos, onde o consumo por energia é de extrema necessidade.

Como uma resposta para essa necessidade de consumo, de forma a combater os altos gastos econômicos com compra de eletricidade, empresas e consumidores residenciais, vem adotando a geração particular de energia. Dessas novas produções, muitas indústrias adotam gerações termoelétricas de energia, transformação da energia mecânica das pás em eletricidade a partir dos vapores dos fornos industriais. Entretanto, para os consumidores residenciais, há uma outra forma de produção de energia, de maneira mais econômica e limpa, sem a produção de nenhum gás tóxico a natureza. Esta é a geração de energia por placas fotovoltaicas.

Esta forma de geração tem como fonte, um corpo espacial bastante conhecido, o Sol. O mesmo incide radiação solar em total momento no planeta. Com isso, através de pesquisas desenvolvidas, principalmente sobre os efeitos fotovoltaicos, onde pela emissão de fótons que o Sol transmite, permite com que elétrons sejam conduzidos nas placas fotovoltaicas, isto pelos semicondutores presentes nelas, com o fim de gerarem eletricidade a partir deste movimento (NETO; CARVALHO, 2012).

Uma forma de quantificar esta radiação é pela razão entre Watt por área (W/m^2). Dados estes de grau de significância, já que o aproveitamento máximo para geração de eletricidade, depende do quanto de aproveitamento de incidência solar apresenta na região. Através da Figura 2.1, se identifica como as diferenças de incidência variam no potencial de geração de energia elétrica. Irradiações menores, apresentam valores de correntes reduzidos, ocasionando baixa produção. Entretanto, com alta irradiação, as produções de energia elétrica tendem a serem de alta geração. Um fator a se destacar, é que nas curvas, a partir de determinados valores de tensões altos, a corrente tem de cair. Por essa queda, os autores (NETO; CARVALHO, 2012), identificaram os melhores pontos de produção, definido pelo termo MPP (Máximo Ponto de Produção).

Figura 2.1 – Curva Corrente por Tensão demonstrando incidências solares diferentes com a temperatura de 25 °C



Fonte: (NETO; CARVALHO, 2012).

Discutindo a respeito sobre como é constituído o material para as placas fotovoltaicas, os principais semicondutores para os elétrons nas placas são produzidos por Silício (Si) podendo ser Mono ou Policristalino. A vantagem do uso deste material é a possibilidade de se encontrar Silício em abundância na natureza. Outra vantagem é de ser um produto que não afeta na natureza e nem aos seres humanos. As diferenças do Silício Monocristalino e Policristalino, ficam por parte de como a constituição da rede de filmes de Silício se organizam. Mono é quando os mesmos se unem formando apenas um cristal único. Tem vantagens de garantir vida útil por mais de 20 anos além de eficiência energética próxima às produzidas em laboratórios. Apresenta desvantagem, apenas no custo elevado de produção. Já as Policristalinas têm na fabricação, a produção de diversos cristais de dimensões variadas. Essa formação prejudica um pouco na qualidade, não atingindo os mesmos valores de produção que uma placa Monocristalina, mas os custos de produção, se tornam bem mais acessíveis para comercialização em massa (NETO; CARVALHO, 2012).

2.1.1 Regulamentação de inserção de placas fotovoltaicas pela distribuidora elétrica

Com as vantagens apresentadas pela geração de energia elétrica através de placas fotovoltaicas, despertou a atenção de diversos consumidores para implementação deste tipo de

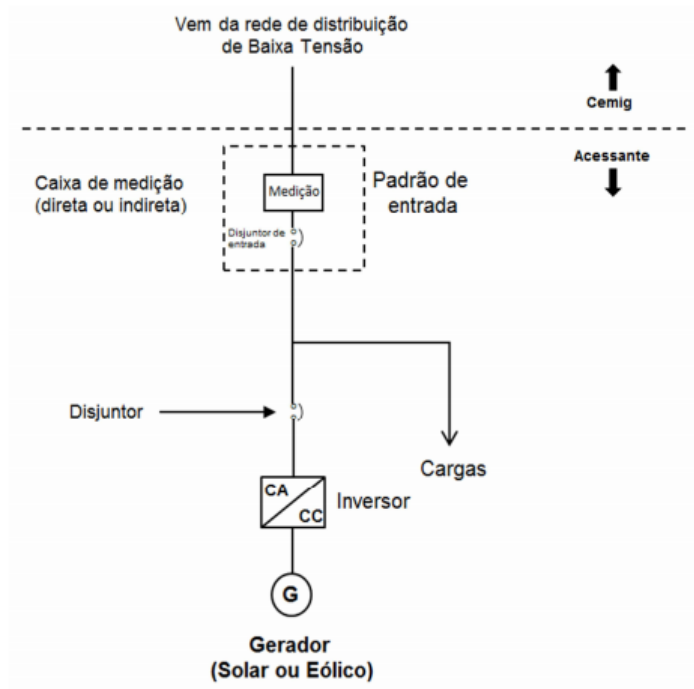
produção, e atender aos consumos próprios. Por lei, todos que quiserem implementar este tipo de sistema, tem de atender algumas etapas. Essas etapas tem o seu motivo, principalmente porque o sistema de geração elétrica por placas fotovoltaicas, normalmente é integrado a sistema elétrico, ocasionando em intervenções por parte da concessionária de eletricidade para a conexão.

Partindo das normas superiores, o PRODIST Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição (PRODIST, 2016a), define como deve ser a forma de acesso a novos integrantes a redes, delegando as normas técnicas a serem seguidas para novas conexões de usuários às distribuidoras. Em conjunto, o PRODIST Módulo 5 - Sistemas de Medição (PRODIST, 2016c), define os sistemas de medições necessários para implementação e manutenção destes sistemas, bem como devam ser alocados em conjunto com o sistema elétrico. Neste ponto, também estabelece o funcionamento de medidores externos, para análises de qualidade de energia previsto pelo PRODIST Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica (PRODIST, 2016b).

Com as normas definidas pela ANEEL, tanto consumidores quanto distribuidoras da energia elétrica, têm que atender estes requisitos. Seguindo assim, por ser este trabalho desenvolvido no estado de Minas Gerais, as normas a nível estadual para construção de geradoras fotovoltaicas ficam por conta da concessionária CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais).

A mesma estabelece normas, onde guia o produtor a como implementar uma nova fonte geradora de energia na rede comum. Para o caso deste trabalho, segue-se o manual ND5.30 - Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEMIG D - Conexão em Baixa Tensão (CEMIG, 2018). Este manual, foi criado com o fim para guiar na inserção de microprodutores de energia, terminologia definida para os que produzirem abaixo ou igual à 75 [kW]. Este guia apresenta diversos procedimentos necessários para que o sistema possa ser feito. A exemplo disto ele define como são as etapas para requerimento de um novo acesso, prazos para resposta e advento do técnico da companhia para atender a demanda, lembrando que todo este protocolo também é definido no PRODIST Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações (PRODIST, 2016d). Outro ponto que o manual aborda é como deve ser construído cada sistema elétrico para conexão com a rede. Um exemplo para isto é como visto na figura 2.2, onde mostra uma retratação gráfica, de como tem de ser uma instalação, com inversores e geradores de energia nas conexões externas da rede elétrica.

Figura 2.2 – Forma de conexão do acessante (através de inversor) à rede da Concessionária.



Fonte: (CEMIG, 2018).

2.2 Qualidade de Energia Elétrica

Para introduzirmos ao tema, há a necessidade de discussão sobre o que se este tipo de análise e a sua importância ao sistema elétrico como um todo. Qualidade de Energia Elétrica, é que uma verificação em um sistema ou rede elétrica, seja baixa ou alta tensão, com o foco na identificação de falhas e problemas ocorridos nas mesmas. Essas análises tem uma importância de enorme valor, pois são elas que ajudam a redução de custos por manutenção, bem como a perda de equipamentos em geral. Preocupação discutida por (MARTINHO, 2013), onde o mesmo relata os problemas na indústria, por perdas de equipamentos, com origem de falhas no sistema elétrico. O mesmo relata sobre prejuízos enormes no setor de manufatura estadunidense, bem como problemas na economia europeia, pelo alto custo da manutenção da qualidade. Neste ponto, o autor identifica certos pontos, onde as indústrias estão com maior foco, sendo nos ajustes dos fatores de potência, variações ou distúrbios de tensões e presença de harmônicos na rede.

Análise na qualidade energia elétrica apresenta grau de relevância alta para que normativas governamentais, definidas pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), serem impostas para que o padrão da rede seja de alta qualidade. Neste caso, temos a normativa PRO-

DIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) Módulo 8, onde regulamenta às necessidades de qualidade de energia elétrica (PRODIST, 2016b).

Nesta regulamentação, aos diversos tópicos a serem verificados no sistema, todos em seus regimes permanentes ou transitórios. Para os permanentes tem-se:

TENSÃO EM REGIME PERMANENTE: segundo a norma do PRODIST MÓDULO 8, são as verificações dos níveis de tensão elétrica da rede, em conformidade com os valores pré-estabelecidos pela ANEEL, podendo ter os status de adequado, precário ou crítico (PRODIST, 2016b).

FATOR DE POTÊNCIA: Valor calculado a partir dos dados de Potência ativa (P) e Potência Reativa (Q) da carga. Por padrão definido pela ANEEL, esses valores têm de ser entre 0.92 a 1.00 para cargas indutivas ou capacitivas ligadas à rede (PRODIST, 2016b).

DISTORÇÕES HARMÔNICAS: Fenômeno ocorridos em associação as deformações nas formas de ondas, seja elas de tensão ou corrente, em relação à onda senoidal da frequência natural (PRODIST, 2016b). Fatores para a ocorrência disto, se deva ao fato de agentes (equipamentos ou outras cargas) conectados à rede com características não lineares (CEMIG, 2016).

DESEQUILIBRIO DE TENSÃO: fenômeno identificado, quando ocorre variação na amplitude em uma das três fases de um sistema trifásico, ou defasagem entre as tensões de um mesmo sistema em 120° (PRODIST, 2016b).

FLUTUAÇÃO DE TENSÃO: tem por caracterização, a variação do valor eficaz ou de picos de tensões instantâneas, seja de forma aleatória, esporádica ou repetitiva. Avaliação essa feita, para verificação da cintilação luminosa ocorrida por pontos de iluminação de baixa tensão, que causem incômodo ao consumidor final (PRODIST, 2016b).

VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA: avaliação ocorrida para verificação da frequência de operação de uma rede ou carga, definidas pela ANEEL, entre 59.9 [Hz] a 60.1 [Hz]. Vale salientar que sistemas podem sofrer um aumento ou recuo do intervalo de frequência, mas que os mesmos garantam o retorno para os limites em tempo menor que trinta segundos (PRODIST, 2016b).

E para o regime transitório, tem-se:

VARIAÇÃO DE TENSÃO EM CURTA DURAÇÃO: estes sendo os desvios ocorridos no valor eficaz da tensão durante um intervalo inferior a menos de trinta segundos (PRODIST, 2016b).

2.3 Placas Fotovoltaicas e a Qualidade da Energia Elétrica na Rede

Com a adesão das placas fotovoltaicas a rede, cada vez se torna necessário analisar o envio dessa energia na rede. Esta preocupação é alta, já que para o correto funcionamento destas placas, ocorrem a necessidade da utilização de inversores, descrito na Figura 2.2. Segundo o estudo de distribuição da CEMIG ED-5-57 de Caracterização de Cargas Potencialmente Perturbadoras (CEMIG, 2016), para placas fotovoltaicas, os principais agravantes são das introduções de distorções harmônicas, um dos principais itens abordados no quesito Qualidade de Energia Elétrica. O motivo da abordagem mais incisiva, é no fato dos prejuízos que possam ocorrer com alto valor de seus parâmetros. Para exemplificar os problemas, primeiro tem os superaquecimentos dos cabos, possibilidades de disparo dos dispositivos de proteção, ressonância nas ondas, quedas na tensão eficaz e fator de potência, além de excessos de corrente no neutro (CAPELLI, 2013).

Para o começo da abordagem sobre distorção harmônica, há regulamentações definidas no PRODIST - Módulo 8 (PRODIST, 2016b), onde descreve valores limites de introdução destas deformações de ondas. Em primeira parte, a ANEEL define que o máximo de harmônicos possíveis para tensão:

Figura 2.3 – Limites para distorção de harmônica na rede elétrica

Limites para distorção harmônica da tensão da rede				
Parâmetro	Descrição	Limites 95%		
		$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT (%)	Distorção harmônica total de tensão	10%	8,0%	5,0%
DTTP(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	2,5%	2,0%	1,0%
DTTi(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	7,5%	6,0%	4,0%
DTT3(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: (CEMIG, 2016).

Observando a Figura 2.3, existem diversos limites para este tipo de distúrbio, podendo ser o conjunto total DTT, para conjuntos de apenas pares como o DTTP, com os conjuntos ímpares DTTi e por fim os DTT3, que são conjuntos onde os componentes são múltiplos de três. Os limites definidos na tabela, equivalem em sequência para tensões Baixas (menores que 1 [kV]), tensões Médias (intervalo de 1 [kV] até 69 [kV]) e tensões Altas (Superiores a 69[kV]).

Para realizar estes cálculos, equações numéricas são utilizadas, sendo elas:

$$\text{Cálculo de DTT: } DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{H_{max}} V_h^2}}{V_i} * 100$$

h = Todas as harmônicas acima de 2 até H_{max} .

H_{max} = Maior harmônica calculada pelo medidor.

$$\text{Cálculo de DTTP: } DTTP\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{H_p} V_h^2}}{V_i} * 100$$

h = Todas as harmônicas pares, não múltiplas de 3 até H_{max} .

H_{max} = Maior harmônica par calculada pelo medidor sem ser múltiplo de 3.

$$\text{Cálculo de DTTi: } DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=5}^{H_i} V_h^2}}{V_i} * 100$$

h = Todas as harmônicas ímpares, não múltiplas de 3 até H_{max} .

H_{max} = Maior harmônica ímpar calculada pelo medidor não sendo múltiplo de 3.

$$\text{Cálculo de DTT3: } DTT3\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=3}^{H3} V_h^2}}{V_i} * 100$$

h = Todas as harmônicas múltiplas de 3 até H_{max} .

H_{max} = Maior harmônica calculada pelo medidor sendo múltiplo de 3.

Pelo estudo apresentado neste trabalho, utilizando de placas fotovoltaicas para microgeração e baixa tensão (boa parte das placas trabalham em 220 [V]), o foco se torna a primeira coluna. Nesta, é visível, que os valores limitantes, são maiores que as demais colunas. Isto permite, um controle mais simples das emissões (reduzindo custos de complexidade de implantação).

Agora, para regulamento sobre o distúrbio harmônico para corrente, pelo PRODIST - Módulo 8, não há regulamento definido, podendo ser adotado o que cada concessionária deseja de controle para sua rede doméstica. Pelo projeto ser desenvolvido dentro do estado de Minas Gerais, a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), adota em seu estudo de distribuição ED-5-57 (CEMIG, 2016), que também haja controle de harmônicos na corrente. Adotando as normas técnicas da IEEE Standard 519 para Recomendações Práticas e Requerimentos para Controle de Harmônicos nos Sistemas Elétricos de Energia (IEEE, 2014), define valores limitantes, em duas tabelas (Figuras 2.4 e 2.5), a primeira para Baixa e Média tensão e a segunda para Alta tensão, para explicações prévias, S_{cc3} representa a Potência de Curto Circuito entregue no ponto de conexão, P_c a Potência da Carga e h como a Ordem do Harmônico (múltiplos da frequência natural):

Dito anteriormente, o trabalho terá foco maior para níveis de baixa tensão, então visualiza-se na Figura 2.4, onde retrata quais parcelas tem seus limites em porcentagem do distúrbio. Comparando com a outra Figura 2.5, acompanha o mesmo diferencial, em cima dos valores limites, onde a primeira figura tem tetos máximos de porcentagem superiores ao segundo. Valores

Figura 2.4 – Limites para distorção de harmônica na corrente para Baixa e Média Tensão

Limites por consumidor para distorção harmônica de Corrente $V \leq 69 \text{ kV}$ (baseados na Norma IEEE - 519)						
$Scc_{3\phi} / P_c$	Valores percentuais das correntes harmônicas					TDD (%)
	$h \leq 11$	$11 < h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
$k \leq 20$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 < k \leq 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 < k \leq 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 < k \leq 1000$	12	5,5	5	2	1	15
$k > 1000$	15	7	6	2,5	1,4	20

Fonte: (CEMIG, 2016).

Figura 2.5 – Limites para distorção de harmônica na corrente para Alta Tensão

Limites por consumidor para distorção harmônica de Corrente $69 \text{ kV} < V \leq 138 \text{ kV}$ (baseados na Norma IEEE - 519)						
$Scc_{3\phi} / P_c$	Valores percentuais das correntes harmônicas					TDD (%)
	$h \leq 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	
$k \leq 20$	2	1	0,75	0,3	0,15	2,5
$20 < k \leq 50$	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25	4,0
$50 < k \leq 100$	5,0	2,25	2,0	0,75	0,35	6,0
$100 < k \leq 1000$	6,0	2,75	2,5	1,0	0,50	7,5
$k \geq 1000$	7,5	3,5	3,0	1,25	0,70	10,0

Fonte: (CEMIG, 2016).

que por inferência, permite um menor controle e também menor custo. Um fator interessante em se comparar os valores entre corrente e a tensão, é que os do primeiro, são bem menores em comparado ao segundo (comparação está entre os dados da primeira coluna de tensão e a Figura 2.4, ambas para Baixa tensão).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, é necessário entender como funciona o Analisador da Qualidade de Energia PowerNet P600 G1. O mesmo tem tensões de trabalho entre 70 a 300 [V_{Ca}], tendo dois fios de alimentação Fase-Fase e Fase-Neutro. Para as coletas de dados, o mesmo apresenta 3 fios para tensão e três alicates para medição de corrente por campo magnético (IMS, 2009).

Figura 3.1 – Analisador de Qualidade de energia PowerNet P600



Fonte: Do autor.

Entendendo a fundo, como deva se utilizar, para a coleta de tensão, os fios são correspondentes para 3 fases, sendo A,B e C. Para sistemas Monofásicos, apenas necessita do fio A, para sistemas Bifásicos A,B, e por fim, sistemas Trifásicos A,B e C. Ressaltando que o neutro também é necessário em todos os casos. Para a coleta de corrente, os alicates são também divididos em três, tendo o A,B e C. Cada ponto é alocado em cada fase do sistema, tendo uma ordem correta de se colocar, pois pode ocasionar em medir a corrente em sentido contrário, e apresentar valores negativos.

Descrevendo sobre o Analisador, o mesmo possui um teclado com 8 teclas, onde é possível se locomover pelos menus interno do sistema, verificação de memória, observar os dados momentâneos, ajustes de datas e horários de forma manual. Para visualização, o aparelho contém um visor LCD, que mostra os dados e menus internos contidos. Um ponto a se observar, é

na quantidade de memória que o mesmo suporta, sendo limitado no máximo de 1.047 [MBytes] de memória interna para gravação.

Figura 3.2 – Case aberto do Analisador de Qualidade



Fonte: Do autor.

As funcionalidades do sistema, além do equipamento apresentar em tempo real os dados que o mesmo está coletando, é possível gravar em sua memória interna esses mesmos resultados, permitindo que longos períodos de gravação e armazenamento possam ser feitos, sem a necessidade do usuário estar no local.

Outro ponto importante, é a conexão que este equipamento pode realizar com um computador. O mesmo com interface de comunicação serial RS-232, permite a conexão em um programa específico: o Analisador P600. Neste programa, há possibilidade não apenas de visualizar os dados internos armazenados no produto, bem como permite programar o mesmo.

Pela função de programar o medidor de energia pelo computador, observa-se a vantagem da não necessidade de ter de programar uma coleta de dados pelos menus interno do aparelho.

3.1 Coleta de dados das Placas Fotovoltaicas da UFLA

Para a primeira coleta de dados, o local escolhido foi na planta fotovoltaica presente na Universidade Federal de Lavras (UFLA). No local, com altitude de 900 metros acima do nível do mar, em uma área plana, um total de aproximadamente 250 placas fotovoltaicas de 54 [W] foram postas em conjunto com 21 placas de 245 [W] dos ecobicicletário presentes no campus.

Quadro 3.1 – Detalhes Técnicos de cada Pannel Solar

<i>Fabricante</i>	<i>Kyocera</i>	<i>MEMCSILVANTIS</i>
Modelo	KC50T	MEMC M245 AMA
Potência Máx.	54 [W]	245 [W]
Tensão Máx.	17.4 [V]	29.7 [W]
Corrente Máx.	3.11 [A]	8.25 [A]
Tipo do Material (Silício)	Policristalino	Monocristalino
Tolerância de Potência	+10/-5 [%]	5 [%]

Fonte: Do autor

Figura 3.3 – Planta Fotovoltaica da UFLA



Fonte: Do autor.

3.1.1 Inversores utilizados na UFLA

Foram divididas em quatro grupos, o motivo desta divisão é que cada grupo tinha para as placas, um inversor. Este Inversor é necessário, pois ele regulariza o sinal de energia, convertendo o sinal DC que as placas produzem em AC para a rede. No caso, para as plantas fotovoltaicas, utilizaram-se dois inversores: Primo 5.0-1 (Potência 5 [W]) e um Primo 4.0-1

(Potência 4 [W]). Para o bicicletário utilizou-se IG-Plus 55V-1 (Potência 5 [W]). Por fim, todos pertencem a mesma fabricante: Fronius.

Quadro 3.2 – Detalhes Técnicos dos Inversores

<i>Características</i>	<i>Inversor_A</i>	<i>Inversores_{BC}</i>	<i>Inversores_D</i>
Modelo	IG-Plus 55V-1	Primo 5.0-1	Primo 4.0-1
Potência Máx. CA	5 [kW]	5 [kW]	4 [kW]
Tensão Máx. CA	230 [V]	230 [V]	230 [V]
Corrente Máx.	21.7 [A]	22.9 [A]	18.3 [A]
Concepção do inversor	Transformador de Alta Frequência	Sem Transformador	Sem Transformador
Eficiência Máx	95.7 [%]	98 [%]	97.7 [%]

Fonte: Do autor

Analisando sobre os Inversores, o Inversor IG-Plus (definido como Inversor A), apresentam algumas características importantes. A primeira em função de adicionar ao inversor, um transformador de Alta Frequência. É válido destacar essa adição pois o mesmo previne que ocorra alguma interação entre os lados CC da placa, com lado CA da rede elétrica (artifício ocorrido pelo isolamento Galvânico). Sistemas bem isolados previnem que ruídos de indução magnética possam ocorrer. Entretanto a um peso desta adição, pois a mesma além de aumentar a dimensão do inversor, diminui a eficiência do mesmo. Para o caso dos outros três inversores que não tem esse transformador, os mesmos têm eficiências maiores, dimensões menores, mas sem o isolamento dos circuitos, o que pode gerar ruídos, caso não tenha outros materiais para reduzir este fator de interferência.

3.1.2 Realização das coletas de dados na UFLA

Para coletar os dados na planta, o medidor de energia (PowerNet P600), foi colocado nas três fases que o sistema de placas alimenta para a rede. No caso, cada uma das pontas de tensão, foram conectadas a uma extensão das fases, enquanto os alicates foram inseridos direto nos cabos de transmissão das mesmas (fases).

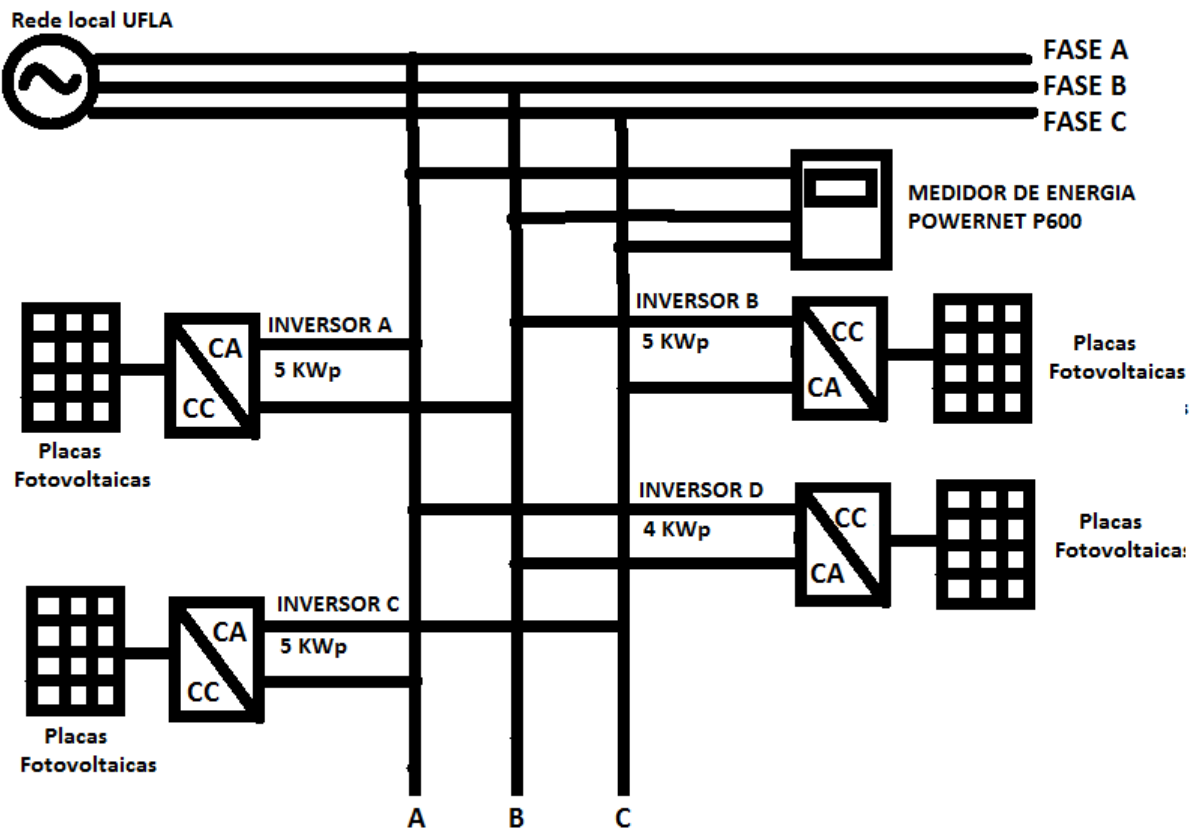
Após a montagem do medidor no sistema das placas, seguindo as normas de segurança, foi programado que coletassem dados em sete dias, por intervalos de dez minutos por amostragem. Essa definição de intervalo de tempo e quantidade de dias é definido segundo o manual do PRODIST Módulo 8, que estabelece como se deva realizar as coletas de amostragem para circuitos de potência (PRODIST, 2016b). Segundo as normas, no mínimo, é necessário de 1008

Figura 3.4 – Inversores utilizados



Fonte: Do autor.

Figura 3.5 – Montagem elétrica do medidor com o sistema de placas fotovoltaicas



Fonte: Do autor.

amostras para se ter uma coleta considerável, representando assim uma margem de coleta por uma semana.

Os dados foram coletados do dia 08 de Abril até dia 16 de Abril de 2019, equivalente a um pouco mais de 8 dias. Ocorreu um prazo maior de coletas, pois por fatores de segurança, tivessem mais dados gerados e evitar ter menos amostras que o necessário. Na retirada dos dados do equipamento para geração do arquivo no formato TXT, mostrou-se que a coleta teve por completo, todos os resultados válidos, sem nenhuma apresentação de erros durante a semana. Outro ponto a se discutir, é a isolação do local, onde o equipamento foi confinado dentro do armário, onde fica o quadro elétrico das placas. A ressalva para essa informação, é de demonstrar que o sistema foi bem isolado, sem ter nenhum fator externo para atrapalhar o medidor de qualidade de energia.

3.2 Coleta de dados das Placas Fotovoltaicas da ADUFLA

A segunda planta a terem os dados coletados, foi realizada na ADUFLA (Associação dos Discentes da Universidade Federal de Lavras), localizada no município de Lavras/MG. O sistema montado no local, foi distribuído em três partes, sendo uma composta por 18 placas solares e as outras duas por 16 painéis solares. Em um total, o sistema conta com 50 placas para uma microgeração dentro do local.

As placas utilizadas foram produzidas pela empresa chinesa JINKO SOLAR, sendo módulos solares policristalinos com potência máxima de até 330 [W] em alta irradiação solar e comprimento de cada painel com altura de 1956 [mm], largura 992 [mm] e espessura de 40 [mm].

Quadro 3.3 – Detalhes Técnicos de cada Painel Solar da ADUFLA

<i>Fabricante</i>	<i>JinkoSolar</i>
Modelo	JKM330PP-72-V
Potência Máx.	330 [W]
Tensão Máx.	37.8 [V]
Corrente Máx.	8.74 [A]
Tipo do Material (Silício)	Policristalino
Tolerância de Potência	+/- 3 [%]

Fonte: (Jinko Solar, 2016)

Diferente da primeira coleta, todas as placas desta medição foram padronizadas a serem da mesma empresa, permitindo um padrão para toda a produção e evitando que ocorra sobre-

Figura 3.6 – Primeiro sistema com 18 Placas solares distribuídos.



Fonte: Do autor.

Figura 3.7 – Segundo e o terceiro sistema, cada qual com 16 Placas solares distribuidos para cada.



Fonte: Do autor.

carga em alguma das fases do sistema trifásico. Outro ponto importante é a localização onde as mesmas foram instaladas, direcionadas para o sentido norte geográfico, permitindo um alcance

maior de irradiação ao longo do dia, já que em cada estação o Sol tende a realizar seu ciclo de pontos diferentes do mapa, vide a órbita solar da Terra que varia ao longo do ciclo anual. Outro ponto a abordar é a mata de eucaliptos que tem atrás do local, que não chega a bloquear a incidência solar nas placas, causada por sombreamento, mas que interfere com galhos que caem ao longo do tempo nas placas, podendo ser um fator a modificar a captação solar.

3.2.1 Inversores utilizados na ADUFLA

Em relação aos inversores utilizados, por ser um sistema particionado em três grupos, cada um deles contava com o elemento em questão. Nesta planta, também teve a padronização de inversores, onde os projetistas aderiram a utilizarem apenas um mesmo modelo para os inversores. A empresa fabricante é a PHB Energia Solar, empresa localizada em São Paulo, voltada para o desenvolvimento de materiais para produção de energia fotovoltaica. O modelo utilizado foi o PHB5000D-NS, inversor desenvolvido para mercado brasileiro, atendendo os requisitos da ANEEL, sendo o mesmo monofásico e que permite trabalhar com uma boa potência, na casa dos 5 [kW] e tensões em corrente contínua de até 580 [Vcc] e alternada de 220 [Vcc].

Quadro 3.4 – Detalhes Técnicos dos Inversores

<i>Características</i>	<i>Inversor</i>
Modelo	PHB5000D-NS
Potência Máx. CA	5 [kW]
Tensão Máx. CC	580 [V]
Corrente Máx. CC	11 [A]
Tensão Máx. CA	220 [V]
Corrente Máx.	22.8 [A]
Frequência Nominal	60 [Hz]
Concepção do inversor	Sem Transformador
Eficiência Máx	97.5 [%]

Fonte: Do autor

Como mostrado no Quadro 3.4, o modelo apresenta características semelhantes ao da UFLA, tendo algumas ressalvas de proteção. Isso se deve ao fato de que o mesmo consegue trabalhar com altas tensões em CC, o que pode proporcionar falhas graves no sistema caso uma proteção segura não seja realizado. Para isso, foi projetado em conjunto com o inversor, um sistema de proteção para o sistema CC. Nele se encontra fusíveis de proteção contra curto circuito, bem como DDS (Dispositivos de Detecção de Surtos), que tem por missão, identificar quando há surtos (potências, tensões e correntes com valores de transitório acima do normal

e por curto período de tempo) no sistema das placas fotovoltaicas. Essas proteções, foram aplicadas em cada um dos inversores, garantindo que cada um dos inversores, tenham suas proteções individualizadas. Por último, mas não menos importante, também há presença de chave disjuntor, com a função de poder armar ou desarmar o sistema, no momento em que tanto o usuário desejar, bem como algum sistema de proteção necessitar de interromper a passagem de corrente para as outras etapas da geração fotovoltaica.

Figura 3.8 – Sistema de Inversores utilizados para placas fotovoltaicas.



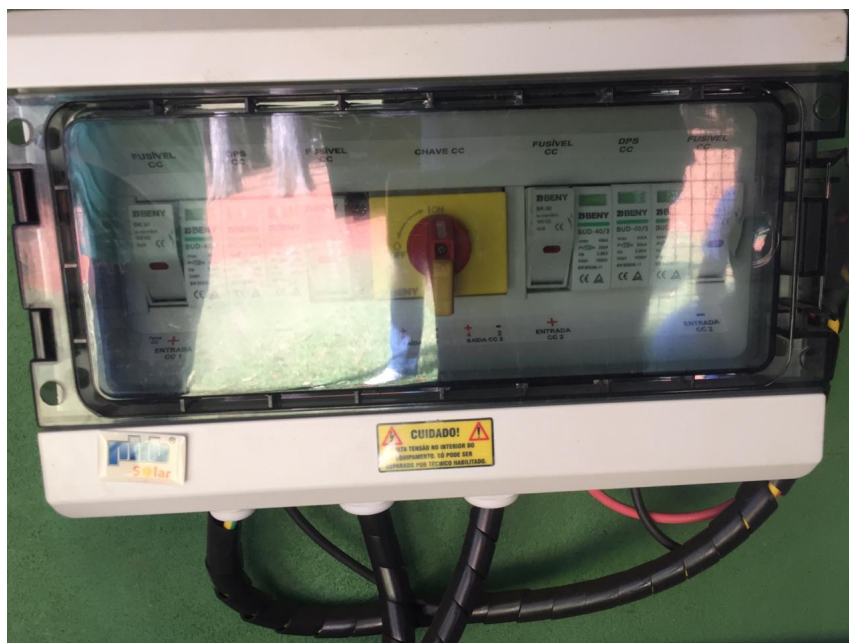
Fonte: Do autor.

3.2.2 Realização das coletas de dados na ADUFLA

Para o início da coleta, o responsável pelo projeto e construção do campo de geração de energia fotovoltaica da ADUFLA, o servidor técnico Júlio César Silva, introduziu a todos os presentes, como foi montado o sistema. Identificou os principais pontos para a escolha do local, as motivações para construção e as vantagens que o sistema vem trazendo após a montagem. Depois de toda descrição, com ajuda do também servidor técnico Alexandre Luiz da Silva, o medidor de energia PowerNet P600 foi introduzido em campo.

Para antes de relatar sobre a introdução do medidor, é importante identificar como é feito a montagem elétrica do sistema. Como dito, os painéis solares são a base do sistema, onde os mesmos realizam a geração de eletricidade em corrente contínua. Posteriormente, o sinal de energia monofásico passa por um sistema de proteção CC. Após este momento o sinal

Figura 3.9 – Sistema de Proteção CC.



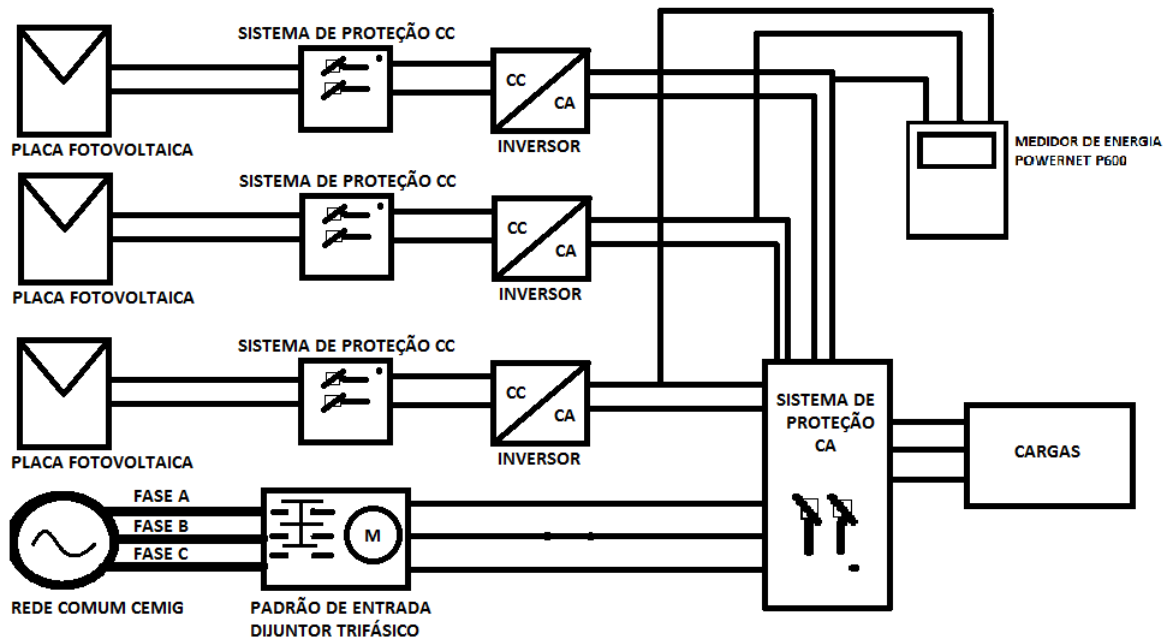
Fonte: Do autor.

passa para os inversores. Com isso, o sinal que era CC se torna CA (Corrente Alternada), podendo assim ser introduzido a rede elétrica. Para a conexão com a rede comum, ocorre a necessidade de alguns fatores. Em primeira instância, por um quadro de proteção CA, evitando que alguma falha ocorrida pós inversores ou até mesmo provindo da rede, não afete nenhum dos dois sistemas. Após isso, o sistema é conectado com a rede interna do local, podendo alimentar eletricamente, as outras cargas do edifício. Por fim, há um disjuntor trifásico na saída da ADUFLA, que separa a rede interna da mesma, com a rede comum com a comunidade. Neste momento é onde fica definido se a produção interna estiver com sobra de energia, possa ser introduzido na rede e comercializado em conjunto com a distribuidora do estado de Minas Gerais (CEMIG).

Como visto na Figura 3.10 o medidor PowerNet P600 foi instalado no sistema, anteriormente ao quadro de proteção CA. O objetivo dele ser alocado antes, vem principalmente porque representa a saída do sistema de placas após a passagem pelo inversor de energia, identificando todos os sinais que possivelmente possam ser introduzidos a rede comum da CEMIG. É observado também que o medidor foi posto igualmente ao sistema da UFLA, sendo em trifásico para os conectores de corrente e tensão.

A partir do momento em que o projeto de medição estava pronto em campo, o medidor foi programado para a coleta de informações. Para isso, seguindo as normas estipuladas pela ANEEL - PRODIST Módulo 8 (PRODIST, 2016b), o intervalo de coletas definido foi de 10

Figura 3.10 – Esquema elétrico de ligação da planta solar com sistema comum de energia da CEMIG.



Fonte: Do autor.

Figura 3.11 – Montagem em campo do sistema de medição de energia na ADUFLA.



Fonte: Do autor.

minutos, para um período de no mínimo sete dias. A requisição ao módulo de coletas de informação, era de para coletar todas as informações que o mesmo permite, sendo tensão, corrente, fator de potência, índice TDH, potências ativa, reativa e aparente. Os dados foram coletados

entre os dias 30 de Abril até 08 de Maio de 2019, respeitando o tempo de amostragem requerido (no caso de 1008 amostras). Após a passagem do período, tanto os servidores quanto os participantes da coleta, retornaram ao local para a retirada do medidor, respeitando todos os cuidados necessários e verificando como foi a coleta de informações por completo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

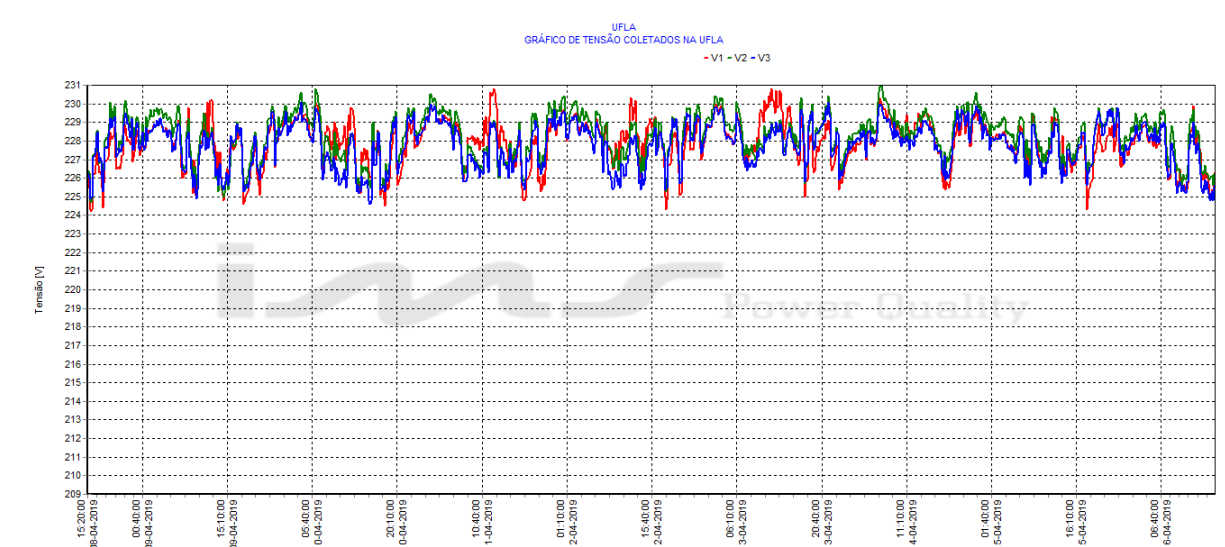
Para demonstração gráfica dos dados apresentados, utilizou-se o programa: Analisador P600, produzido pela fabricante do equipamento (IMS). A principal função do aplicativo, é a permissão da visualização de dados coletados pelo medidor para computadores, facilitando a comunicação homem-máquina com o instrumento. Outra função importante é a identificação gráfica dos resultados, apresentando os valores de forma amigável ao usuário.

4.1 Coleta de dados na Usina Fotovoltaica da UFLA

Para os dados coletados da Usina Fotovoltaica da UFLA, tendo amostras dos dias 08 de Abril de 2019 à 16 de Abril de 2019, foram avaliados em quatro dados diferentes de medição de energia. A primeira em função da tensão que o sistema operou ao longo dos dias, tendo de respeitar os limites mínimos e máximos da tensão. Outro ponto a ser identificado, é a corrente gerada nos momentos de geração de energia, verificando principalmente a variação da medida ao longo dos dias. Após estas duas amostragens, parte-se para o principal ponto do trabalho, sendo a avaliação dos índices de Distorções Harmônicas Totais (THD), tanto para a corrente quanto para a tensão.

4.1.1 Avaliação da Tensão no Período de Coleta

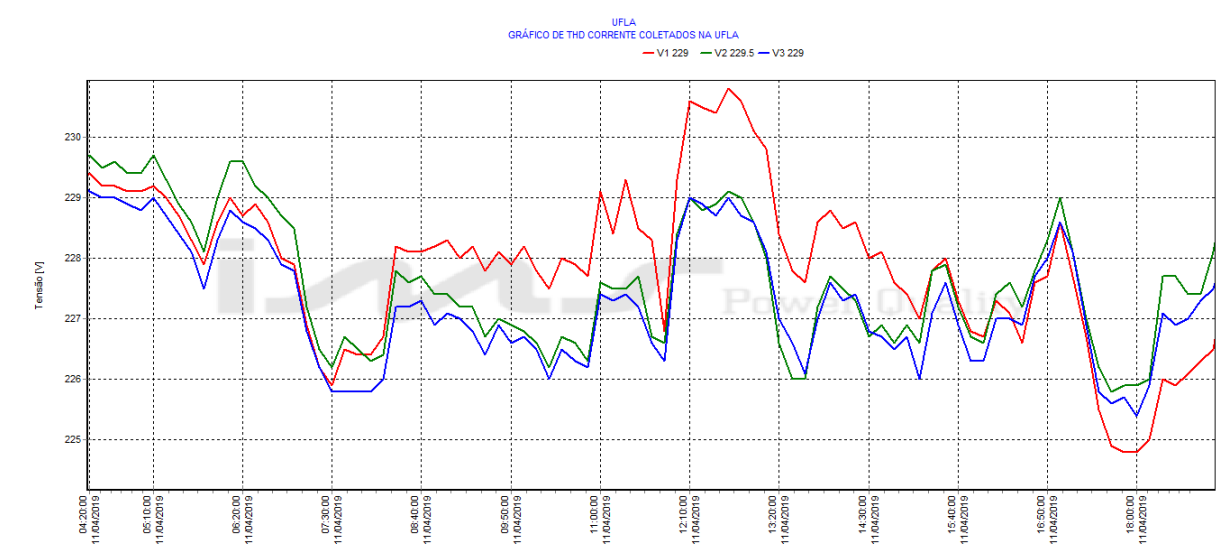
Figura 4.1 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da UFLA



Fonte: Do autor.

Da Figura 4.1, pode-se avaliar como foram os índices de tensão do sistema. Como amostrado pelo programa, as três fases de tensão são identificadas. Cada uma com uma cor. No caso vermelho para fase 1, verde para fase 2 e azul para fase 3. De primeira mão pode se verificar a semelhança de progressão dos sinais de coleta, semelhantes para os três, o que era de se esperar, pois as mesmas têm de apresentar uma sincronia de sinal próximas. Nota-se que também a média dos valores de tensão registrado, se encontra em 228 [V]. Para tanto, a mesma deveria se encontrar no valor de 220 [V], mas segundo a (CEMIG, 2016), valores para tensões, podem se encontrar com 5 [%] para mais ou para menos da tensão nominal da rede. Com isto, os valores apresentados podem estar entre 209 [V] à 231 [V], (margem demonstrada pelo intervalo na Figura 4.1).

Figura 4.2 – Identificação dos Dados Coletados de Tensão em um Período Específico de Coleta

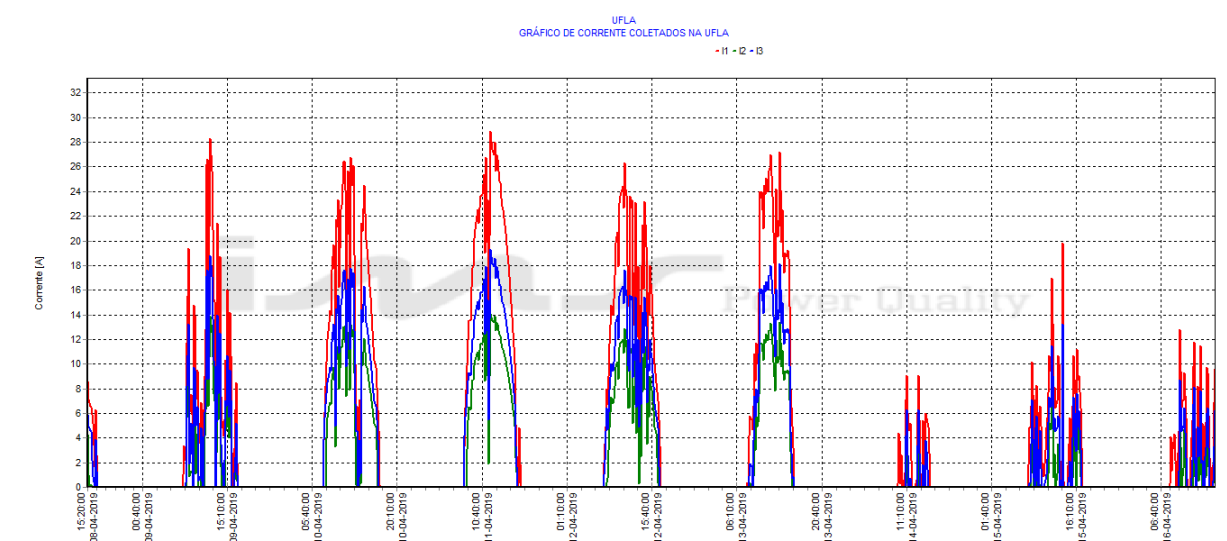


Fonte: Do autor.

Para a data de 11 de Abril de 2019, pode-se verificar na Figura 4.2, como a tensão se comportou ao longo de sua produção. No início de sua geração no dia (por volta das 08:00 [h]), sofreu uma pequena queda na sua média de tensão. Essa queda pode significar que para a partida da geração, ocorra um desequilíbrio na tensão a ponto dela apresentar uma redução, apesar de mínima (apenas 2 [V]). O fato também é semelhante para o fim de produção (por volta das 16:50 [H]), onde também acontece a mesma queda, para que com uma hora depois, ela retornasse ao ponto comum de média. Um padrão a se verificar, são os momentos onde ocorrem maiores produções, onde os índices de tensão ficaram maiores, chegando a quase o limite permitido pela norma da CEMIG (CEMIG, 2016).

4.1.2 Avaliação da Corrente no Período de Coleta

Figura 4.3 – Dados coletados de Corrente da usina fotovoltaica na UFLA

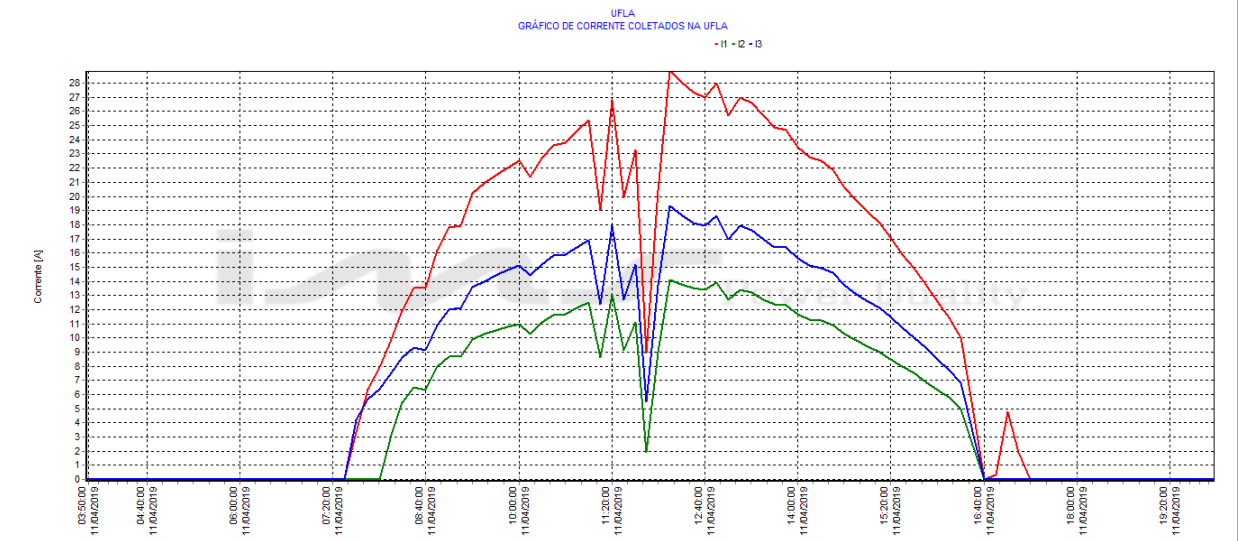


Fonte: Do autor.

Como visto na Figura 4.3, os valores de corrente apresentaram um comportamento bem semelhante ao longo dos dias. Primeiro que a corrente é produzida apenas em horários de incidência solar nas placas. Esta produção ocorria nos intervalos das 08:40 [H] até as 16:40 [H] em média. Também é visível que a medida em que o Sol completava seu ciclo ao longo do dia, a corrente variava em conjunto. Prova disto, é que no início de sua geração, o sinal apresentava correntes menores do que 8 [A], entretanto, quando o Sol atingia o ápice de radiação (em torno do 12:00 [H]), os valores atingiam até 28 [A], demonstrando alta produção de energia. Por fim, quando se encerrava a incidência de radiação (na casa das 16:40 [H]), a corrente retornava a índices semelhantes ao início, até que se encerrava por completo, reiniciando a produção no próximo dia.

A partir da visualização dos dados coletados de corrente, apresentados na Figura 4.4, em um dia de alta produção, demonstra como o comportamento descrito anteriormente é preciso. No início de produção deste dia, os valores apresentaram-se baixos, na casa dos 10 [A] para as fases 2 e 3, e 14[A] para fase 1. No entanto, quando atingiu-se o ponto máximo de radiação solar, ocorreram três situações. Primeiro com aumento gradual, atingindo pontos de até 16 [A] para as fases 2 e 3 e até 25 [A] para a fase 1. Depois um afundamento da corrente, reduzindo bastante as mesmas, chegando a ficarem abaixo dos 10 [A]. Por fim, o sinal retorna a aumentar atingindo o ponto de maior corrente, onde a fase 1 atinge a mais de 28 [A], fase 3 com 19

Figura 4.4 – Dados coletados de Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 11 de Abril

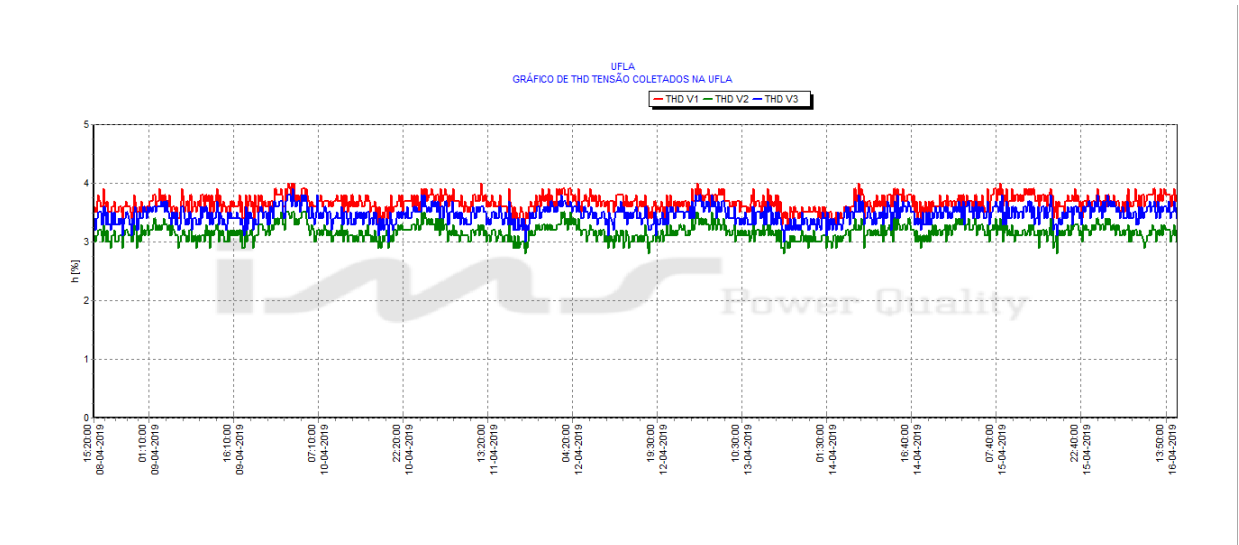


Fonte: Do autor.

[A] e a fase 2 com 14 [A]. Para completar o dia, nota-se as quedas das correntes, ocorridas principalmente com a diminuição da radiação solar nas placas fotovoltaicas.

4.1.3 Avaliação do THD da Tensão no Período de Coleta

Figura 4.5 – Dados coletados de THD de Tensão na Usina Fotovoltaica da UFLA

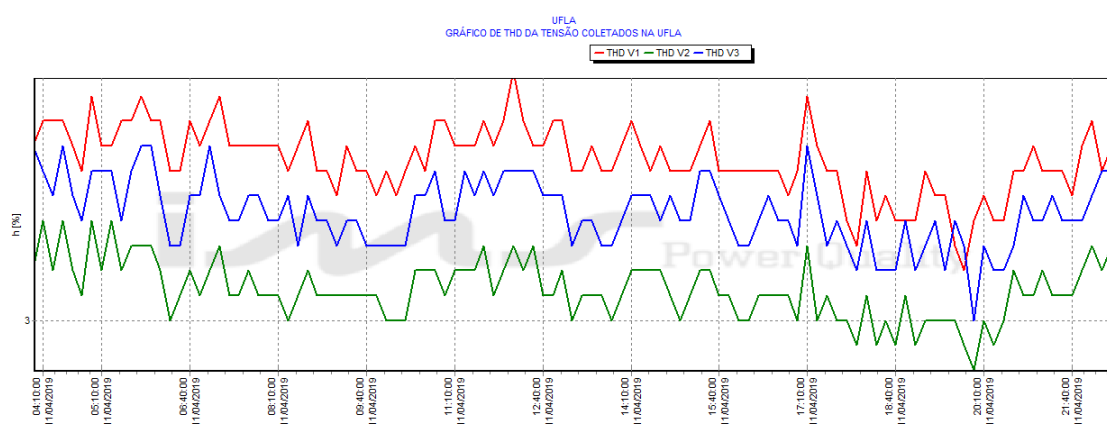


Fonte: Do autor.

Pela apresentação dos resultados da Figura 4.5, os índices de THD para tensão, se mostram favoráveis. Seguindo as normas do PRODIST Módulo 8 (PRODIST, 2016b) e pela norma da concessionária CEMIG (CEMIG, 2016), os padrões para índices de harmônicos totais para Baixa Tensão, devem se encontrar em valores menores a 10 [%]. Pelos dados amostrados, o

intervalo está bem abaixo do limite, se encontrando entre 3 [%] à 4 [%]. Como esta avaliação é uma das principais motivações deste trabalho, pode-se avaliar o que neste quesito, o sistema montado pela UFLA apresenta-se nos parâmetros adequados para as duas normas.

Figura 4.6 – Dados coletados de THD de Tensão na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 11 de Abril



Fonte: Do autor.

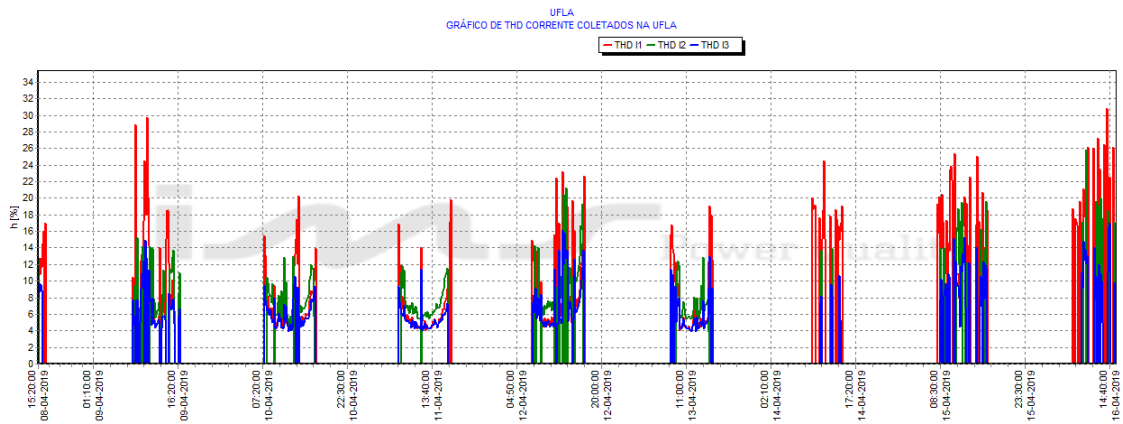
Para uma melhor visualização da dinâmica das curvas para cada fase, selecionamos a data 11 de Abril, dia de maior produção, apresentados na Figura 4.6. Observa-se como o sistema para cada fase se comporta de maneira semelhante, onde as mesmas se encontram no intervalo descrito, de 3 [%] à 4 [%]. Um fator de se notar, é como a fase 1 apresenta valores maiores que as outras duas fases, e que a resposta desta causa, está presente na Figura 4.2, onde os valores de tensão neste dia para a fase, eram os maiores em relação aos outros.

4.1.4 Avaliação da THD da Corrente no Período de Coleta

Para análise do THD para corrente, ocorreram alguns fatores interessantes a se analisar, principalmente em seus valores e sua dinâmica ao longo dos dias.

Como mostrado na Figura 2.4, implementado pela Norma da IEEE 519 (IEEE, 2014), define-se que para baixa tensão, o índice de THD-I (THD de corrente), possa ter índices máximos de 5 [%]. Como visto na Figura 4.7, em determinados momentos, o mesmo se encontra dentro do limite, principalmente em dias de produção alta, mas em dias de baixa, os valores ficaram com porcentagens muito maiores que o permitido. O foco em geral, principalmente para a fase 1, picos de distorção chegaram na casa dos 30 [%], acima até do maior valor permitido pela Figura 2.4. Outro fator para análise, é como essas curvas se desenvolvem ao longo do dia,

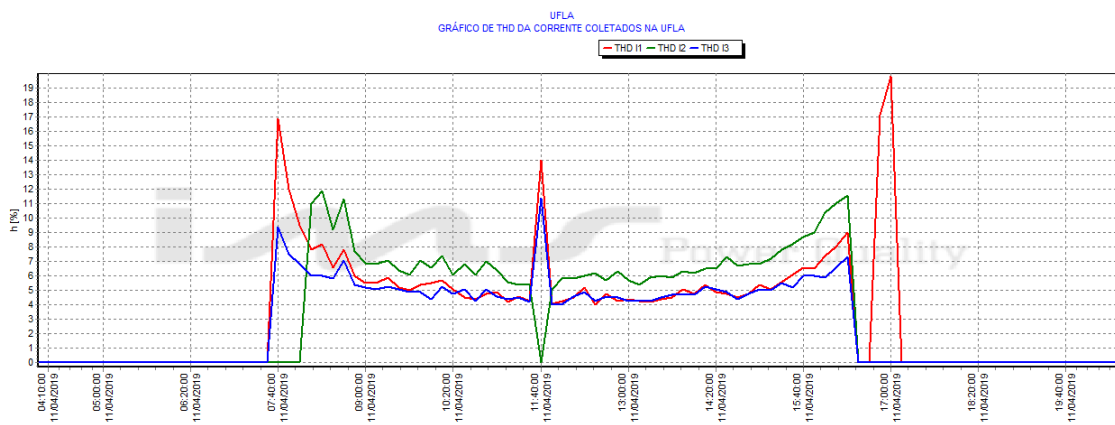
Figura 4.7 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA



Fonte: Do autor.

onde no início e fim de produção de energia desenvolveram os maiores índices de harmônicos e nos momentos de alta produção os menores valores médios.

Figura 4.8 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 11 de Abril

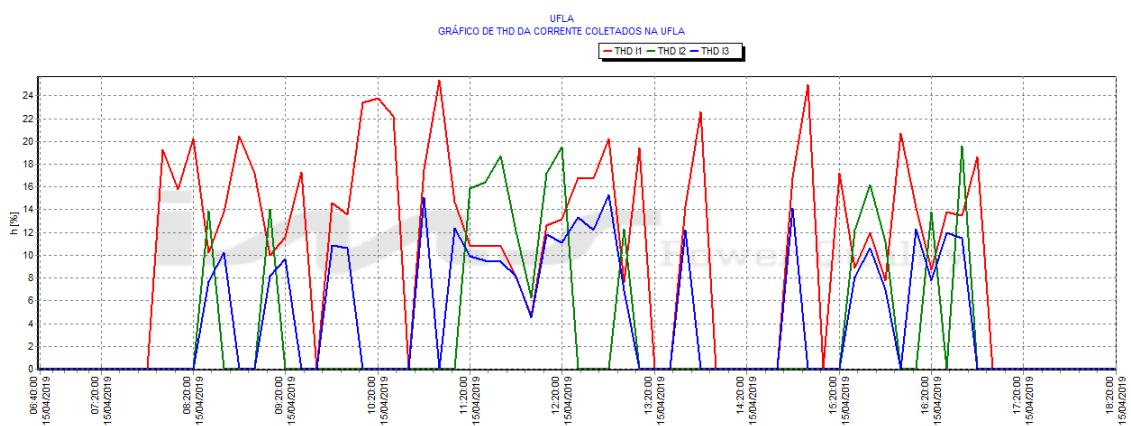


Fonte: Do autor.

Focando em uma visualização para o dia de alta produção como na Figura 4.8, o que se pode observar, foram como os valores médios ao longo do dia apresentaram valores relativamente baixos, chegando a ficar dentro da média permitida, em alguns momentos. Mas como descrito, nos momentos de início e fim de geração, os valores ficaram relativamente altos, atingindo a casa dos 10 [%], o que segundo a referência (IEEE, 2014), o dobro do permitido. Neste dia em questão, também ocorreram algumas variações não esperadas, como um pico na porcen-

tagem as 11:40 [H], e no fim do dia, onde a fase 1 atingiu a quase 20 [%] de distorção. Para melhorar esta análise, basta realizar uma comparação das Figuras 4.4 e 4.8. A primeira, representa os valores de corrente e a segunda o THD de Corrente. Como mostrado, os momentos de maiores picos de THD, foram quando os valores de corrente se apresentaram baixos. Esse comportamento também se apresenta no momento onde ocorreu queda nos valores de corrente, as 11:40[H], tendo as porcentagens de distorção aumentados neste horário.

Figura 4.9 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da UFLA no dia 15 de Abril



Fonte: Do autor.

Já para o dia 15 de Abril, a Figura 4.9 mostra como um dia de baixa produção modifica bastante os valores de distorção. Para verificar isto, basta visualizar como as curvas se comportaram ao longo do dia, onde a fase 3, que apresenta os menores resultados, atingindo picos variados de 10 [%] à 14 [%] quase que o tempo inteiro de produção. Enquanto a fase 1 que detém as maiores porcentagens, atinge picos variando dos 16 [%] até 24 [%].

Com estas duas diferenças, o que notamos é de que para a Usina Fotovoltaica da UFLA, em dias de produção baixa, ocorre maior incidência de harmônicos na corrente, entretanto, em dias de alta produção os valores caem, mas ainda assim, mantêm-se maiores que os desejados pelas normas de qualidade de energia. Este fator em si, é preocupante, pois altos índices de harmônicos no sistema, além de sobrecarregar a rede, ainda podem diminuir a vida útil dos cabos de conexão.

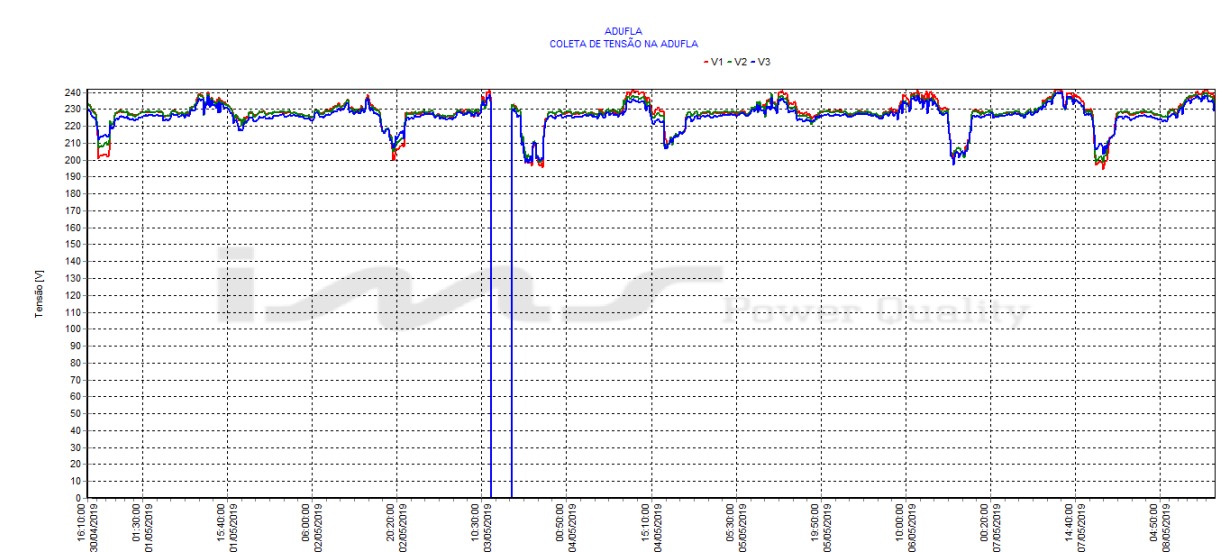
4.2 Coleta de dados na ADUFLA

Após a semana de coletas na ADUFLA, entre os dias 30 de Abril de 2019 à 08 de Maio de 2019, os dados foram passados ao programa da IMS, para análise de todos os resultados. Como explicado, todas as medições foram consideradas pelo medidor válidas, representando que tudo ocorreu em perfeita ordem. Para esta amostragem, se analisaram em cinco tópicos principais: análise de tensão, análise de corrente, THD de tensão e THD de corrente e pôr fim a demanda trifásica que o mesmo gerou ao longo desta semana. Vale lembrar que este teste respeitou os procedimentos demandados pelo PRODIST Módulo 8 (PRODIST, 2016b), no quesito de número de amostras, tendo no mínimo 1008 amostras (uma semana).

4.2.1 Avaliação da Tensão no Período de Coleta

Como primeiro quesito, a tensão apresentada pela Usina Fotovoltaica da ADUFLA. A mesma pode ser observada na Figura 4.10. Primeiro tem de se reportar a interrupção de energia que ocorreu no dia 03 de Maio, por volta das 12:00 [H] até as 15:40 [H] do mesmo dia. Esta interrupção, até o presente momento não se obteve uma explicação se foi da própria rede (ocasionada por algum agente da concessionária) ou até mesmo do próprio sistema do local. Este mesmo problema será relatado em todos as outras análises, pois nenhum registro foi colhido neste intervalo.

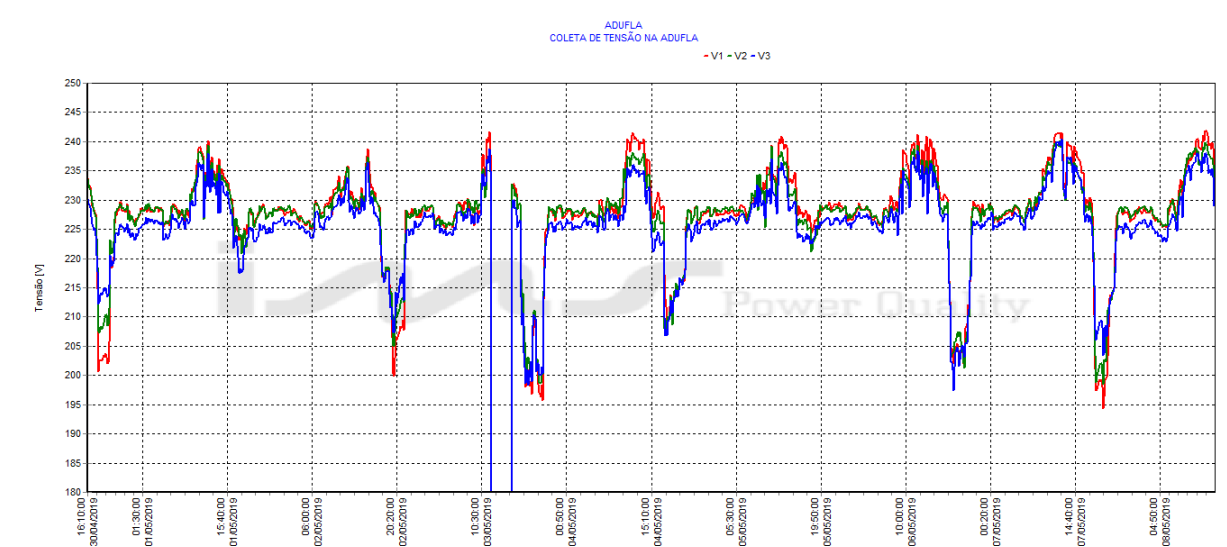
Figura 4.10 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA



Fonte: Do autor.

Sobre a tensão, a mesma apresenta momentos com valores mais elevados e outros momentos menores. Este padrão de comportamento é parecido até mesmo com o demonstrado na Usina Fotovoltaica da UFLA. Entretanto, os índices apresentados na Figura 4.11, apresentam dados fora das normas de regulamentação.

Figura 4.11 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA

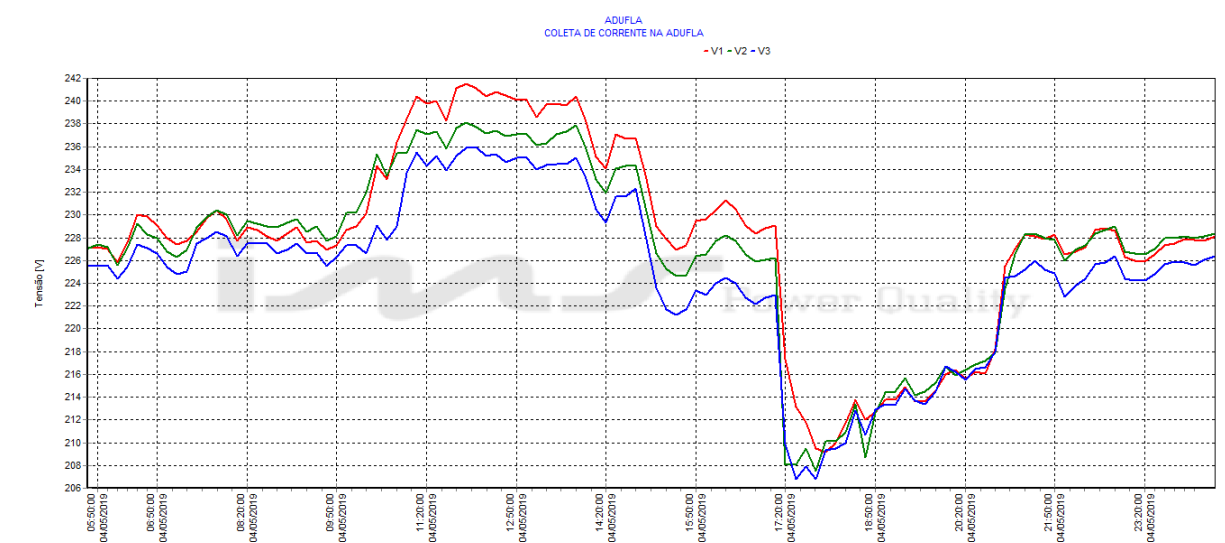


Fonte: Do autor.

Seguindo as normas do PRODIST Módulo 8 (PRODIST, 2016b) e também da CEMIG (CEMIG, 2016), as tensões na rede tem de se manterem na região de 95 [%] a 105 [%] da tensão nominal estabelecido. No caso, os inversores trabalham com tensão de 220 [V], tendo a tensão mínima de 209 [V] e máxima de 231 [V]. O que ocorreu, e é visível na Figura 4.11, é de que em momentos de alta produção de energia ao longo do dia, os índices de tensão superaram os limites máximos, chegando até a 240 [V], quase 10 [%] a mais da tensão nominal. E esse fator de ultrapassagem de limites, não ocorreu apenas para valores máximos, mas também para os mínimos. No caso, quando a produção se encerrava ao fim do dia, as amostras de tensão, apresentavam tensões menores que 205 [V], em alguns instantes até menores que 200 [V].

Por fim, uma apresentação de um dia com boa produção de energia, onde fica plausível de visualizar os pontos do dia em que a mesma ultrapassa os limites superiores e inferiores da norma. A tensão apresenta acima dos limites de 231 [V] a partir das 10:00 [H] até às 14:30 [H] e os limites inferiores em um curto intervalo de 10 minutos por volta das 17:20 [H]. Outro ponto a se relatar é a progressão de curvas, onde a medida que o ciclo solar se completa, os gráficos respondem aumentando no alto índice solar e diminuindo quando o mesmo também se reduz.

Figura 4.12 – Dados coletados de Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio



Fonte: Do autor.

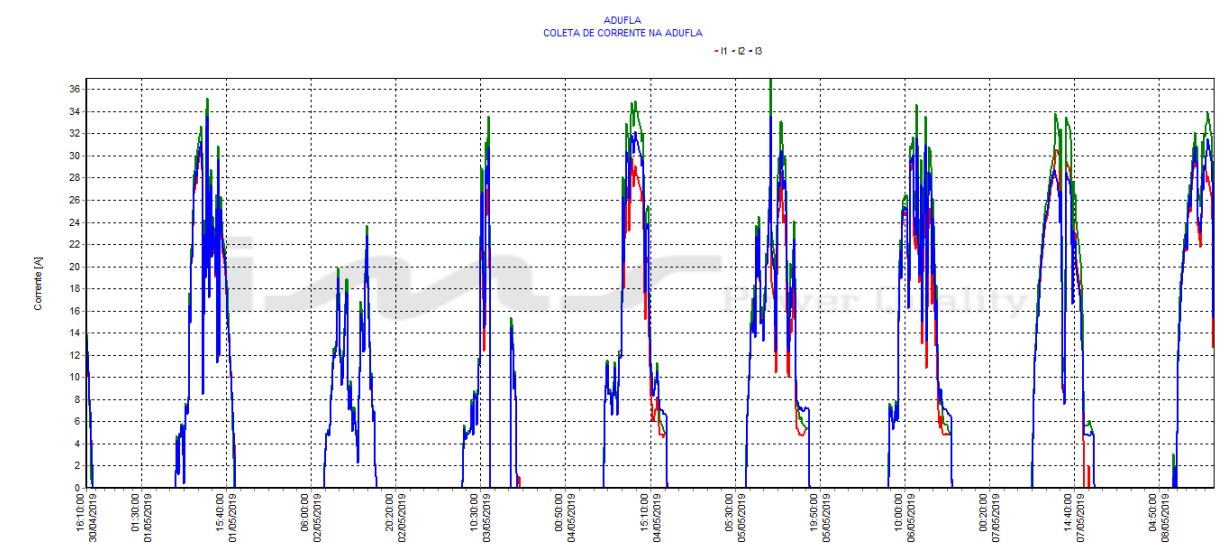
Resultados como este, demonstram que possa estar ocorrendo elevação de tensão ao longo dos dias, o que representa uma preocupação com os equipamentos que estão conectados no sistema, podendo principalmente diminuir a vida útil dos inversores, que trabalham até uma certa faixa aceitável de tensão.

4.2.2 Avaliação da Corrente no Período de Coleta

Para a análise de corrente, o que se pôde observar dos comportamentos das curvas, foram semelhanças ao que ocorreu com o dados de correntes da Usina da UFLA. Sendo assim, apresentaram apenas sinal quando ocorreram geração de energia elétrica, sendo que para o início, as correntes apresentavam valores abaixo de 10 [A], mas que com o passar do dia, atingiam-se a casas superiores a 26 [A]. Como todo um ciclo, quanto mais a radiação solar diminuía, também a corrente reduzia seus valores, atingindo a mesma proporção que era quando começou, até se encerrar por completo.

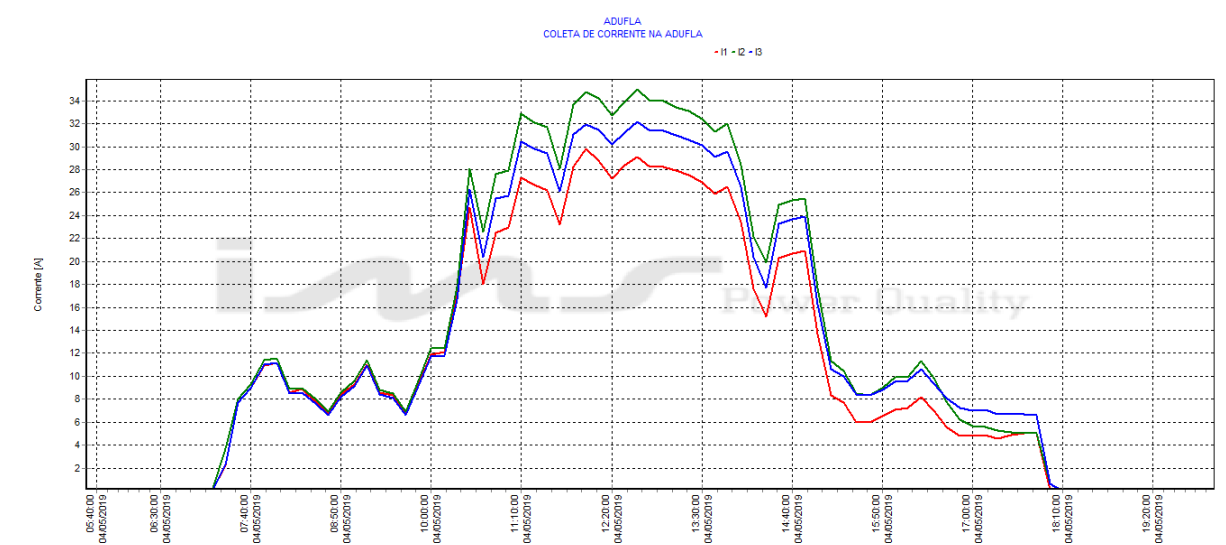
Com uma melhor visualização de progressão das curvas de corrente, foi selecionado um dia de alta produção, Figura 4.14. No caso o dia selecionado foi o do dia 05 de Maio de 2019, onde teve uma produção considerável, apresentando bons valores de corrente. Como descrito, para o começo e fim de produção os valores ficaram na casa dos 12 [A], sendo que no ponto ápice de radiação, por volta das 11:00 [H] até 15:00 [H], os valores se mantinham acima dos 22 [A], tendo a fase 2 com pico de 34 [A].

Figura 4.13 – Dados coletados de Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA



Fonte: Do autor.

Figura 4.14 – Dados coletados de Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio

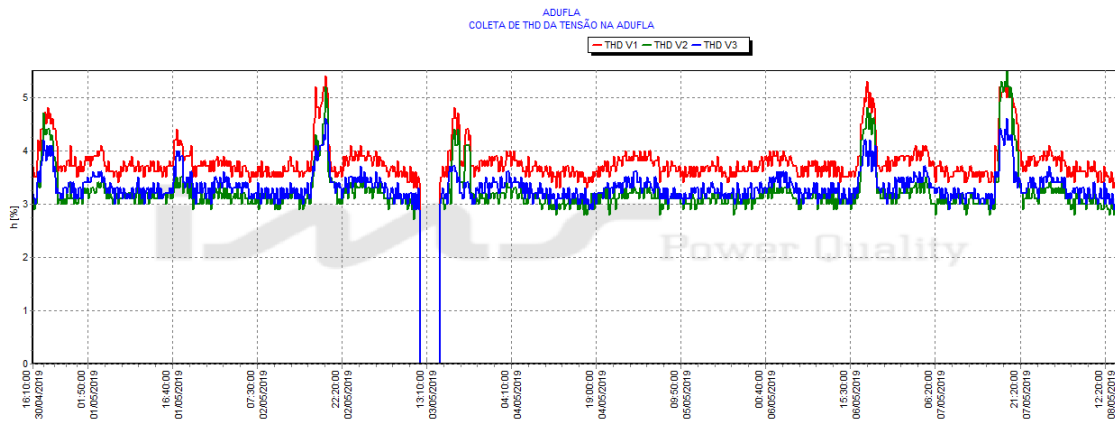


Fonte: Do autor.

4.2.3 Avaliação do THD da Tensão no Período de Coleta

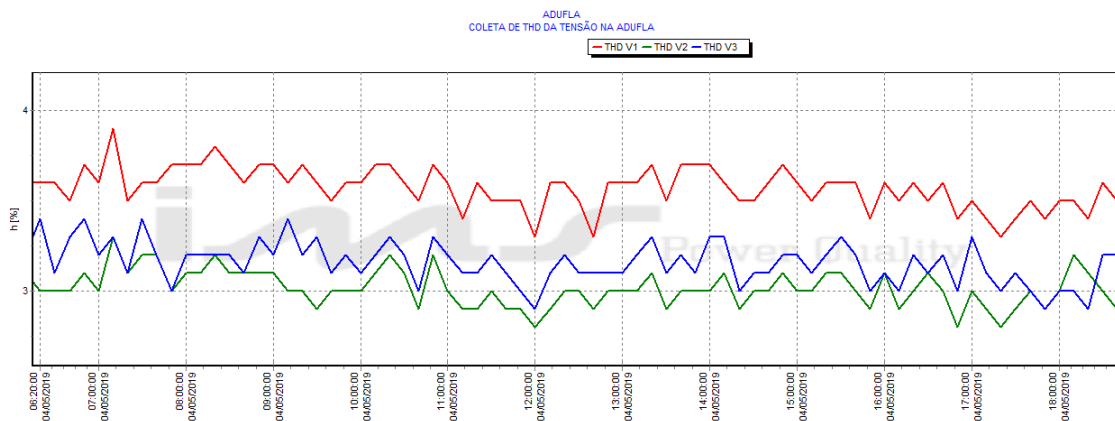
Analisando os gráficos de THD para Tensão, demonstrado na Figura 4.15, pode-se constatar que para este parâmetro, o mesmo se encontra dentro das normas estabelecidas pelo PRODIST Módulo 8 (PRODIST, 2016b), bem como as normas da concessionária CEMIG (CEMIG, 2016). Para confirmar esta constatação, basta verificar que as regulamentações, definem que o sistema tem de apresentar valores menores que 10 [%]. Observando as curvas de distorções de tensão, boa parte dos valores se encontram abaixo dos 5 [%], sendo assim, valores ótimos para este quesito.

Figura 4.15 – Dados coletados de THD da Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA



Fonte: Do autor.

Figura 4.16 – Dados coletados de THD da Tensão na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio



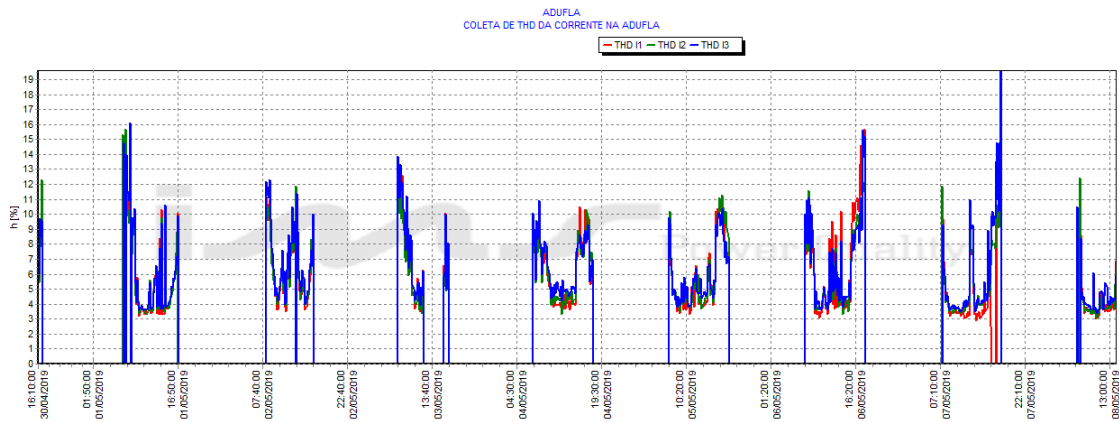
Fonte: Do autor.

Com aproximação do gráfico de distorção de harmônicos, focando no dia 04 de Maio em horário de produção de energia, o que pode ser avaliar principalmente, é o comportamento semelhante em todo o gráfico, não tendo nenhuma variação significativa a se constatar, apenas que todos os valores se encontram na zona aceitável das regulamentações.

4.2.4 Avaliação da THD da Corrente no Período de Coleta

Avaliando os dados apresentados pela Figura 4.17, como pode-se observar, o comportamento é bem semelhante ao que ocorreu nos dados da Usina Fotovoltaica da UFLA, onde para

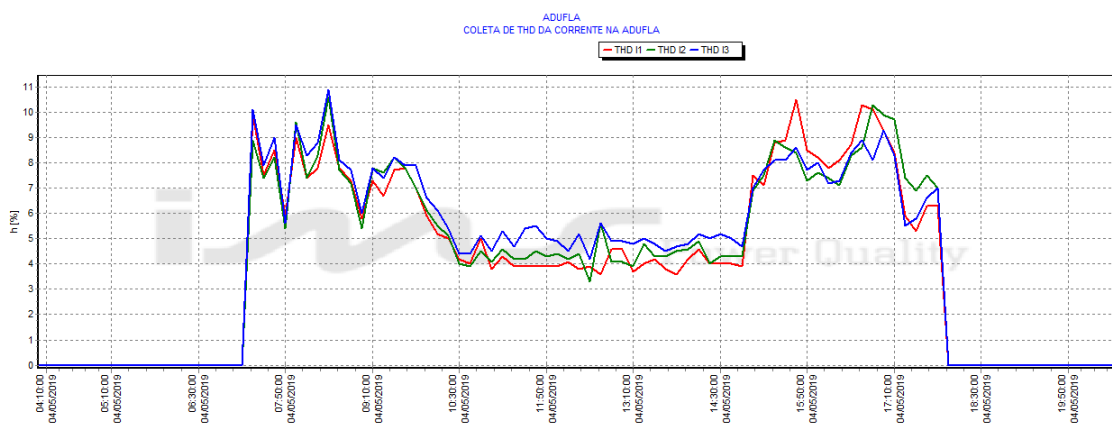
Figura 4.17 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA



Fonte: Do autor.

o início e fim de produção de energia elétrica, coletava valores altos, enquanto nos momentos de maior radiação solar, os valores se reduziam. Entretanto, também continua a apresentar o mesmo problema que a outra usina: tendo valores superiores ao permitido pela norma. Como definidos pela norma IEEE 519 (IEEE, 2014) e visto na 2.4, os valores para THD da corrente tem de ser menores que 5 [%]. O resultado da análise demonstra o erro que ocorre, onde a maioria dos valores (retirando em determinados pontos quando há alta radiação), ficam maiores que permitido. Para constatar essa notação, verifica-se em dois dias diferentes, sendo os dias 04 e 07 de Maio de 2019.

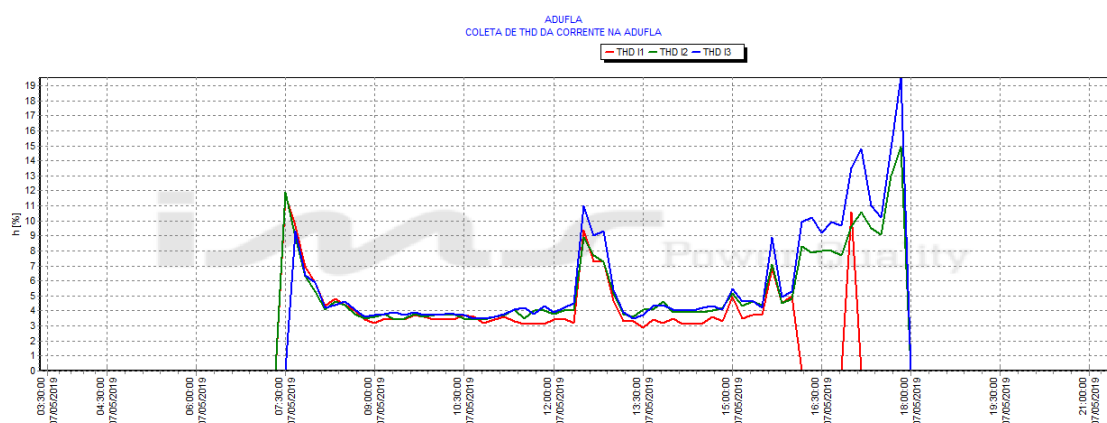
Figura 4.18 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio



Fonte: Do autor.

Para o dia 04 de Maio, mostrado na Figura 4.18, no início de produção, até as 10:00 [H], todos os valores ficaram maiores que a norma, tendo picos de até 11 [%] de distorção de onda. No intervalo depois das 10:10 [H] até por volta das 14:30 [H], permaneceu no limite do possível. Depois deste horário, até o fim de geração, os valores voltaram a subir novamente, chegando a passar da marca dos 10 [%] de THD de corrente.

Figura 4.19 – Dados coletados de THD da Corrente na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 07 de Maio



Fonte: Do autor.

Por fim, uma última comparação desta distorção, realizado no dia 07 de Maio e apresentado pela Figura 4.19, o comportamento foi um pouco semelhante, mas com algumas ressalvas. Onde a partida da geração ficou em menor tempo com índices altos, sendo que antes das 09:00 já estava com valores controlados e permanecendo assim, até 12:10 [H], onde ocorreu um pico de distorção de 11 [%] para fase 3 e aproximado de 10 [%] nas outras fases. Logo após, antes das 13:00 [H], se normalizou e retornou a valores aceitáveis, permanecendo até as 15:00 [H]. Depois disto os valores ficaram bem discrepantes, onde a fase 1 não apresentava mais valores até um certo tempo, enquanto as outras duas fases, continuavam a aumentar seus valores, chegando a uma delas (a terceira), atingir o valor de 19 [%] de distorção harmônica, um dos maiores registrados em toda a coleta.

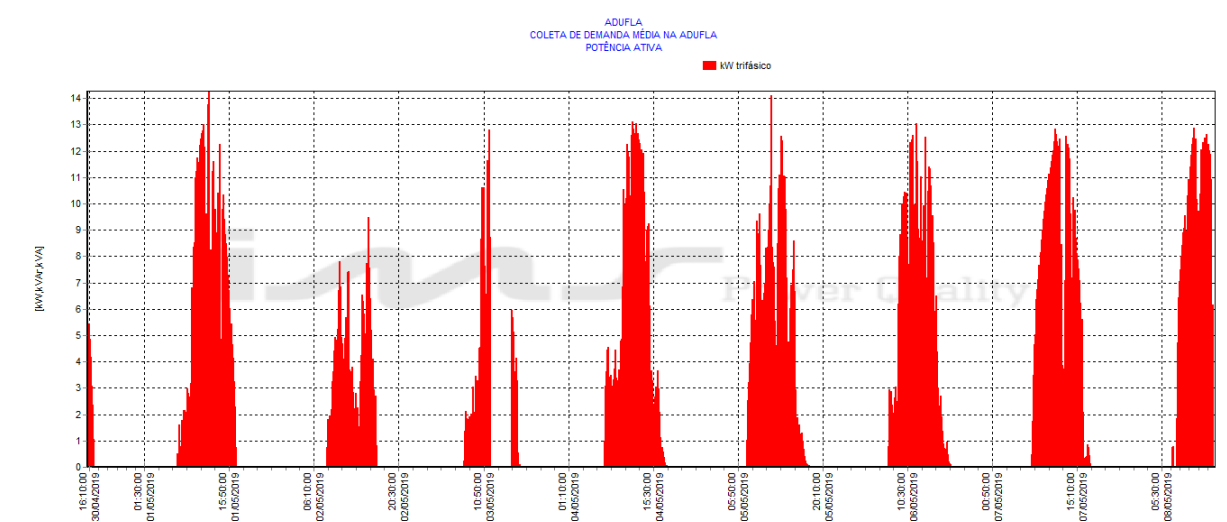
Na avaliação final, os dados para THD na corrente, também não se apresentaram satisfatórios, demonstrando que apesar de o sistema estar bem montado e construído, ainda assim podem apresentar distorções harmônicas indesejáveis em qualquer ambiente. Muito dessas causas podem ser consideradas, pelos inversores utilizados, mas também as cargas que estão dentro do local da usina, como compressores das piscinas ou até mesmo a sauna elétrica que o local

possui. Relembrando, que diferente da Usina Fotovoltaica da UFLA que liga diretamente a rede, este ainda passa pelas cargas do próprio edifício para assim adentrar a rede comum. Apesar disto tudo, ainda sim o resultado é preocupante, principalmente porque este desequilíbrio (distorção), possa causar problemas futuros de aquecimento nos cabos e diminuir o tempo de vida útil do sistema.

4.2.5 Avaliação da Demanda no Período de Coleta

Para as coletas da ADUFLA, um novo tópico em especial, pôde ser desenvolvido, no caso o de demanda do sistema. Para isto, se avaliou toda à potência ativa, fator real de como a concessionária entende como produção de energia elétrica. Neste estudo se avaliou como a geração ao longo dos dias ocorreram, mostrando os momentos de alta e baixa produção.

Figura 4.20 – Dados coletados de Potência Ativa na Usina Fotovoltaica da ADUFLA



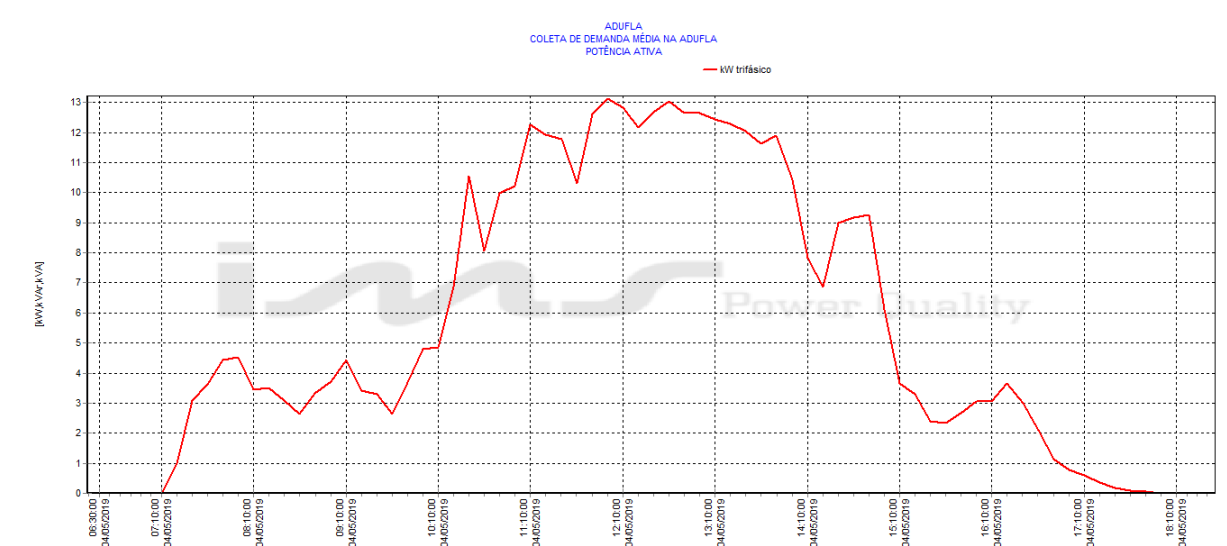
Fonte: Do autor.

Avaliando a Figura 4.20, há diversos pontos a se observar. O primeiro é a curva diária de produção, onde começa relativamente baixo, em média de até os 3 [kW], mas que com o aumento da radiação nas placas, chega a momentos de pico de até 14 [kW], proporcionando uma grande produção e atingindo o potencial esperado com os três inversores em conjunto citadas na metodologia, de até 15 [kW]. Por fim, no final do dia retorna a proporções semelhantes ao início de geração. Fatores a se notar também, é como estes dados se mantiveram tão altos em vários dias e para um dia específico, ficou abaixo do convencional. Buscando pelo site de Meteorologia (INMET - Instituto Nacional de Meteorologia), pode avaliar como foi a incidência de nebulosidade ao longo desta semana em Lavras. Pelo órgão, em quase todos os dias, os

índices de nebulosidade foram quase nulos, sendo apenas no dia 02 de Maio de 2019, o único com valores máximos para o tópic (INMET, 2019). Isso bate com os dados coletados, onde exatamente neste dia, a condição de pico, não passou de 9 [kW].

Focando no dia 04 de Maio, Figura 4.21, onde ocorreu uma grande produção, em detalhes, é possível ver como foi a desenvoltura da curva de potência ativa. Das 07:00 [H] até as 10:00[H], intervalo de baixa radiação, a geração foi de até os 5 [kW]. Entretanto, depois deste horário até as 15:00 [H], os dados permaneceram bastante elevados, com picos de até 13 [kW] de produção. Por fim, a amostragem se reduz para 4 [kW] até se cessar.

Figura 4.21 – Dados coletados de Potência Ativa na Usina Fotovoltaica da ADUFLA no dia 04 de Maio



Fonte: Do autor.

5 CONCLUSÃO

Para conclusão deste trabalho, há determinados pontos a se analisar individualmente de cada planta, bem como comparações entre elas.

Para a planta da UFLA, os índices em maioria, se encontram dentro das normas de qualidade propostas pelo PRODIST Módulo 8 (PRODIST, 2016b) e da concessionária CEMIG (CEMIG, 2016). No quesito tensão, se adequa as normas de apresentar dados dentro do intervalo de 95 [%] a 105 [%]. Para corrente, apesar de não haver nenhuma norma para este quesito, ainda sim apresenta valores condizentes há uma planta comum, tendo uma progressão de curva esperada. Em THD de tensão, a mesma também se adequa aos valores permitidos, estando todos eles abaixo dos 10 [%] de distorções harmônicas totais.

Por fim, um dado tem de ser apresentado a parte, referente ao THD de Corrente. Para estes resultados, os valores ficaram muito acima do permitido pelas normas, chegando a picos de até 30 [%] de distorção, sendo que por regulamentações, deveriam estar na casa dos 5 [%]. Esse fator em si é preocupante, pois com esta amostragem, é permitido visualizar a possibilidade de alto desgaste das fiações, principalmente pelo fato de superaquecimento dos fios, causados por este tipo de falha (CAPELLI, 2013). Como forma de amenizar o TDH de Corrente, a adição de filtros passivos (indutores aplicados em série com a carga poluidora) ou filtros ativos (circuitos eletrônicos que compensam o erro adicionando ou retirando corrente na linha).

Para a planta da ADUFLA, apesar de apresentar valores altos de produção em um menor espaço, tendo a capacidade de suprir as condições que o local necessita, apresenta algumas características boas e outras ruins. Para apresentação das boas, primeiro o de Corrente, que também condizem com progressão de curva esperado, tendo picos em condições de alta radiação e baixos valores quando a insolação nas placas é baixa. Outro fator dentro das normas é a de THD de tensão, que se encontra dentro do intervalo descrito, abaixo dos 10 [%].

Entretanto, para os dados de tensão, ocorreram algumas alterações não previstas, principalmente em horários de picos (superando o intervalo superior) e também em momentos de diminuição de radiação no fim do dia (passando do intervalo inferior). Como consequência destes fatores, são a sobrecarga no sistema, principalmente nos inversores, que apesar de aguentarem valores superiores a 10 [%] da tensão nominal, força o sistema a trabalhar nos limites de operação. Para baixa de tensão, a preocupação fica de o sistema não ter a tensão o suficiente de abastecer os próprios inversores e o sistema cair. Para os dois fatores, o mais recomendável é utilização de estabilizadores de tensão, a fim de segurar o sistema dentro dos padrões exigidos.

Outro ponto a se abordar, fica para o THD de corrente, que apresentou valores não condizentes com as normas, apesar de ser bem menores que os da planta da UFLA. Ainda assim, consta fora do normal aceitável de 5 [%], necessitando também de ajustes e de filtros passivos ou ativos, para suprir esta demanda.

Focando em projetos futuros, é interessante a busca de novos locais para análises de dados, bem como comparar com estes coletados. Também é interessante, reavaliar estas duas plantas, sendo que para isto, os sistemas das placas sejam desativados, podendo assim verificar se há influência das placas ou de algum outro fator externo nos resultados. Para se caso as implementações recomendadas forem adicionadas, verificar se o sistema continua a atender as demandas de qualidades exigidas pelo PRODIST e CEMIG.

REFERÊNCIAS

- CAPELLI, A. **Energia elétrica: Qualidade e Eficiência para Aplicações Industriais**. 1. ed. São Paulo: Editora Erica, 2013.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Caracterização de Cargas Potencialmente Pertubadoras**. Minas Gerais, 2016. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/ED-5-57.pdf>>.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão**. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/Normas\%20Técnicas/ND.5.30.pdf>>.
- IEEE. **IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems**. [S.l.], 2014.
- IMS. **Manual de Instalação e operação**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.ims.ind.br>>.
- INMET. **Consulta Dados da Estação Convencional: LAVRAS (MG)**. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODM2ODc=>>>.
- Jinko Solar. **JKM330PP-72 315-330 Watt**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.jinkosolar.com/ftp/PT-MKT-330PP-72.pdf>>.
- MARTINHO, E. **Distúrbios da Energia Elétrica**. 3. ed. São Paulo: Editora Erica, 2013.
- NETO, M. R. Borges; CARVALHO, P. C. M. d. **Geração de Energia Elétrica : Fundamentos**. 1. ed. São Paulo: Editora Erica, 2012.
- PRODIST. **Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-3>>.
- PRODIST. **Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>.
- PRODIST. **Módulo 5 - Sistemas de Medição**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-5>>.
- PRODIST. **Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-6>>.