

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

1st Silvio Lima Bandeira
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Mossoró-RN
silvio-bandeira@hotmail.com

2st Romênia Gurgel Vieira
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Mossoró-RN
romenia.vieira@ufersa.edu.br

3st Maria Izabel da Silva Guerra
Departamento de Engenharia e
Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Mossoró-RN
izabel.guerra@ufersa.edu.br

Resumo — A utilização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), está cada vez mais em ascensão no Brasil. Diante desse crescimento, torna-se necessário avaliar os impactos dessa fonte nos sistemas de energia elétrica. Partindo desse cenário, o presente trabalho busca analisar e quantificar o impacto da conexão de um SFCR, avaliando os indicadores de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) com base nos níveis especificados no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Para realizar a coleta de dados foi utilizado um analisador de energia elétrica instalado na saída do inversor do SFCR situado no Laboratório de Energia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) na cidade de Mossoró-RN. Utilizando os dados coletados foi possível analisar parâmetros de DTTv, DTTi, FP, potência ativa, reativa e aparente, tensão, variações de frequência e desequilíbrio de tensão. Observou-se que os critérios analisados estiveram dentro dos padrões adequados embora também tenha verificados casos que houve elevação nos níveis de tensão. Por fim conclui-se que os impactos causados são relevantes dentro do sistema elétrico, e o desempenho do SFCR mostrou-se satisfatório, embora ainda haja possibilidades de melhorias.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico. Geração Distribuída. Qualidade de Energia Elétrica. Energia Renovável

I. INTRODUÇÃO

Cada vez mais as atividades humanas estão sobrecarregando a atmosfera com dióxido de carbono e outros gases poluentes, criando significativos impactos nocivos à saúde, ambiente e ao clima. Buscando uma maior conservação ambiental, as energias renováveis surgem trazendo benefícios substanciais, aumentando o fornecimento de energia limpa que permitem substituir fontes de energia intensivas em carbono e reduzir seus impactos negativo. Devido a isso e aliado a necessidade de diversificação da matriz energética, o aproveitamento da energia solar surge como uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis.

A utilização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), está cada vez mais comum no Brasil, principalmente após ANEEL publicar a primeira Resolução Normativa (RN) nº 482/2012, que estabelece condições para

o acesso de micro e mini geração distribuída, além dos grandes investimentos em pesquisas e tecnologia no setor.

A Micro e Mini Geração Distribuída de energia solar fotovoltaica, atingiu em 2017 a marca 53,6 GWh e 174,5 MW de geração e potência instalada respectivamente [1]. Entretanto, esse aumento significativo de SFCR pode trazer alguns novos problemas para as concessionárias, principalmente na questão da Qualidade de Energia Elétrica (QEE) entregue por esses sistemas.

O impacto causado pela inserção fotovoltaica nos sistemas de distribuição de energia elétrica no Brasil se torna mais preocupante com a previsão de crescimento da sua capacidade instalada. As redes, que antes recebiam um fluxo de potência unidirecional oriundo de uma única fonte geradora de energia elétrica, agora recebem a inserção de várias instalações fotovoltaicas ao longo dos alimentadores, o que pode originar um fluxo inverso de potência[2].

Os SFCR's são compostos por inversores de frequência que, por sua vez, são constituídos por dispositivos semicondutores. A utilização destes dispositivos eletrônicos nas redes de distribuição causa deformidades nas formas de onda de tensão e corrente e afeta a QEE [3].

Ao conectar um SFCR as ondas de tensão e corrente do inversor de frequência devem estar em fase com as da rede, além disso, a energia gerada deve apresentar um certo grau de QEE de modo a não causar distúrbios elétricos a rede.

Diante disso e percebendo o recente aumento no interesse na instalação de sistemas fotovoltaicos no Brasil, este trabalho buscou analisar e quantificar o impacto da conexão de um sistema de geração fotovoltaica conectada à rede, realizando um estudo da qualidade de energia após a instalação de um sistema fotovoltaico no Laboratório de Energia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) / Mossoró-RN e verificando seus indicadores de qualidade de energia elétrica segundo as normas do padrão nacional Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

II. QUALIDADE DE ENERGIA

Devido ao desenvolvimento da eletrônica de potência e do avanço tecnológico que o setor de energia elétrica vem passando nos últimos anos, o perfil de carga e os hábitos dos consumidores mudaram significativamente, com isso a exigência por uma qualidade de energia elétrica está cada vez maior.

Problemas com a qualidade da energia elétrica, acarretam alguns distúrbios no sistema, podendo comprometer o fornecimento de energia, causar danos aos equipamentos e insegurança aos usuários [4].

Diante deste contexto, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) propõe algumas medidas para normatizar e padronizar a QEE no país, através dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) no seu módulo 8, que tem como objetivo “Estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica, abordando a qualidade do produto, a qualidade do serviço prestado e a qualidade do tratamento de reclamações” [5].

Os critérios relacionados a qualidade do produto, tanto em regime permanente como em regime transitório são:

Permanente

- i. tensão em regime permanente;
- ii. fator de potência;
- iii. harmônicos;
- iv. desequilíbrio de tensão;
- v. flutuação de tensão;
- vi. variação de frequência.

Transitório

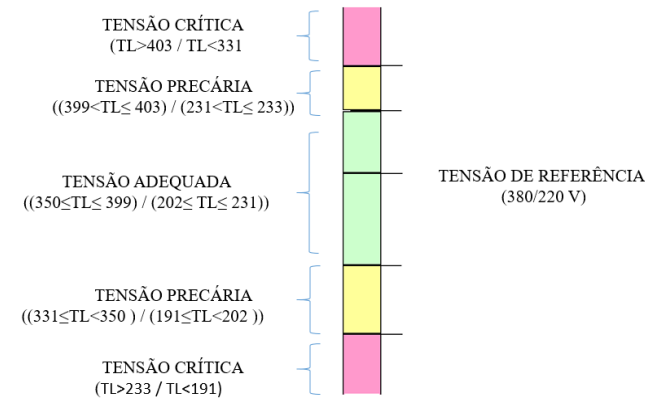
- i. variações de tensão de curta duração - VTCD;

Utilizando-se também como base as definições e conceitos do Módulo 8 do PRODIST, alguns desses critérios são tratados individualmente a seguir.

A. TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

No Módulo 8 do PRODIST são estabelecidos os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente. Devendo a distribuidora dotar-se de recursos e técnicas modernas para tal acompanhamento, atuando de forma preventiva para que a tensão em regime permanente se mantenha dentro dos padrões adequados. A Figura 1 mostra os valores para de tensão (380V/220V) estudados neste trabalho.

FIGURA 1 - FAIXAS DE TENSÃO DE LEITURA (TL) EM RELAÇÃO A REFERÊNCIA



FONTE: ANEEL (2017), MODIFICADO.

B. FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência (FP) pode ser definido como a diferença de fase entre a onda de tensão e corrente. Ele pode ser calculado através da razão entre a potência ativa (P) e a aparente (S), de acordo com a Equação 1 [4].

$$fp = \frac{P}{S} \quad (1)$$

De acordo com o módulo 8 do PRODIST para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1, e 0,92 capacitivo, de acordo com regulamentação vigente.

C. DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Os harmônicos são capazes de quantificar as distorções nas formas de onda de tensões e correntes elétricas, caracterizadas por sinais senoidais com frequências múltiplas e inteiras da frequência fundamental e sua presença pode ser feita através do tratamento individual ou total das mesmas [7].

Afim de quantificar a qualidade dos sinais são utilizados dois critérios, a distorção harmônica individual (DITH) e a distorção harmônica total (DTT). A primeira pode ser definida como uma grandeza que expressa o nível individual de uma das componentes que totalizam o espectro de frequências de um sinal distorcido e a segunda representa uma composição das distorções harmônicas individuais que expressa o grau de desvio da onda em relação ao padrão ideal [8]. Os cálculos DITH e DTT da tensão são mostrados respectivamente nas Equações 2 e 3.

$$DITH\% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (2)$$

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_2^{hm\acute{a}x} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde h é a ordem harmônica, $hm\acute{a}x$ é a ordem harmônica máxima, V_h é a tensão harmônica de ordem h e V_1 é a tensão de frequência fundamental.

Os limites de distorções harmônicas totais são definidos pelo Modulo 8 da PRODIST e representados pela Tabela 1.

TABELA 1-LIMITE DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS TOTAIS (EM % DA TENSÃO FUNDAMENTAL)

Indicador	Tensão Nominal		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kv}$	$1,0 \text{ kv} < V_n < 69 \text{ kv}$	$69 \text{ kv} \leq V_n < 230 \text{ kv}$
Distorção harmônica total de tensão (DTT%)	10,0 %	8,0%	5,0%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3 (DTT _p %)	2,5%	2,0%	1,0%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3 (DTT _i %)	7,5%	6,0%	4,0%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 (DTT ₃ %)	6,5	5,0%	3,0%

FONTE: ANEEL (2017).

D. DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

O desequilíbrio em um sistema elétrico é o fenômeno na qual as três fases apresentam diferentes valores dos módulos das tensões ou defasagem angular entre fases diferentes de 120° elétricos [2]. A expressão para o cálculo do desequilíbrio de tensão é mostrada na Equação 4:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad (4)$$

Onde FD é o Fator de desequilíbrio de tensão, V_- representa a tensão eficaz de sequência negativa e V_+ a tensão eficaz de sequência positiva.

Alternativamente, pode-se utilizar a expressão a seguir, que conduz a resultados em concordância com a formulação anterior:

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ac}^2)^2} \quad (6)$$

Em que V_{ab} , V_{bc} e V_{ca} são as tensões eficazes de linha.

Os limites para o indicador de desequilíbrio de tensão estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - LIMITES PARA OS DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO.

Indicador	Tensão nominal (Vn)	
	$V_n \leq 1,0 \text{ KV}$	$1 \text{ KV} < V_n < 230 \text{ KV}$
FD%	3,0 %	2,0%

FONTE: ANEEL (2017).

E. VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

O modulo 8 da PRODIST determina que em sistema de distribuição e em instalações de geração conectadas, em condições normais de operação e em regime permanente, devem operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

Na ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne, no intervalo de tempo de 30 (trinta) segundos após a ultrapassagem, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração.

Durante distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:

a) Não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;

b) Pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 (trinta) segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos;

c) Pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 (cinco) segundos.

Os criterios desmosntrados anteriormente serão utlizados para analisar e quantificar indicadores de qualidade de energia elétrica. Os métodos e procedimentos adotados nesses estudos serão mostrados no item a seguir.

III. METODOLOGIA

Neste trabalho será analisado o desempenho de um SFCR instalado no Laboratório de Energia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) na cidade de Mossoró-RN. O sistema possui 44 módulos fotovoltaicos do fabricante *Canadian Solar*, modelo CS6U-325P, 325 Wp, totalizando uma potência instalada de cerca de 14 kWp. Para a conversão da corrente contínua para alternada são utilizados dois inversores de 10 kW de potência cada.

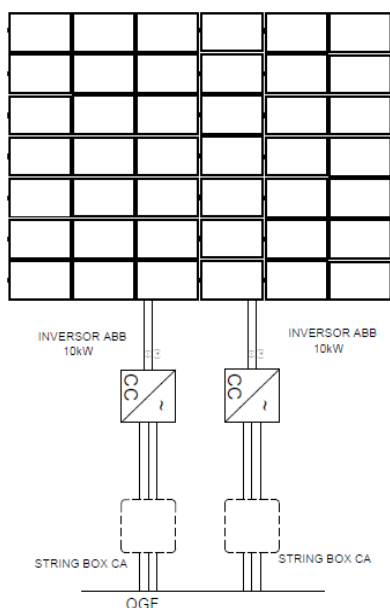
A Tabela 3 mostra um resumo das principais características do inversor e a Figura 2 apresenta um diagrama unidirecional do sistema.

TABELA 3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS INVERSOR ABB PVI-10.0-TL-OUTD

Corrente Contínua máxima (I_{DCmax})	34.0 A
Faixa de tensão continua de Entrada (V_{DC})	220V - 850 V
Tensão máxima de entrada (V_{DCmax})	900 V
Potência nominal de saída AC (PAC, r)	10000 W
Potência aparente máxima de saída	11500 VA
Corrente máxima de saída	16,6 A
Tensão nominal de saída (V_{AC})	320 – 480
Frequência nominal (f_r)	50 Hz / 60 Hz
Distorção harmônica atual total	< 2%
Fator de Potência	> 0,995, para PAC, r =10.0 kW

FONTE: ABB (2018).

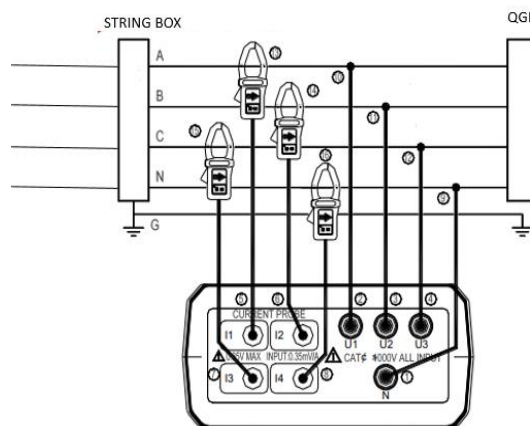
FIGURA 2 - DIAGRAMA UNIDIRECIONAL DO SISTEMA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Para realizar a coleta de dados foi utilizado o analisador de energia elétrica do fabricante TES, modelo 3600N, acoplado na saída do inversor. A Figura 3 representa o esquema de ligação trifásico a 4 fios utilizado nas medições. O analisador foi configurado para registrar os dados de tensão, corrente, potência ativa, potência reativa e potência aparente, componentes harmônicas e fator de potência em um intervalo de 30 segundos, durante o mês de agosto. A Figura 4 mostra o analisador utilizado.

FIGURA 3 - DIAGRAMA DE CONEXÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO



FONTE: INSTRUTEMP (2018), MODIFICADO

FIGURA 4 - ANALISADOR DE ENERGIA ELÉTRICA TES 3600N



FONTE: TES ELECTRICAL ELECTRONIC CORP (2018)

Após a coleta dos dados pelo analisador, estes foram compilados para o computador. Para o tratamento dos dados, e desenvolvimento dos gráficos foi utilizado os softwares *Microsoft EXCEL®* e *Matlab®*.

IV. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das medições, avaliando os indicadores da QEE da rede elétrica causado pela inserção de fontes de geração fotovoltaica.

A. ANÁLISE DAS POTÊNCIAS

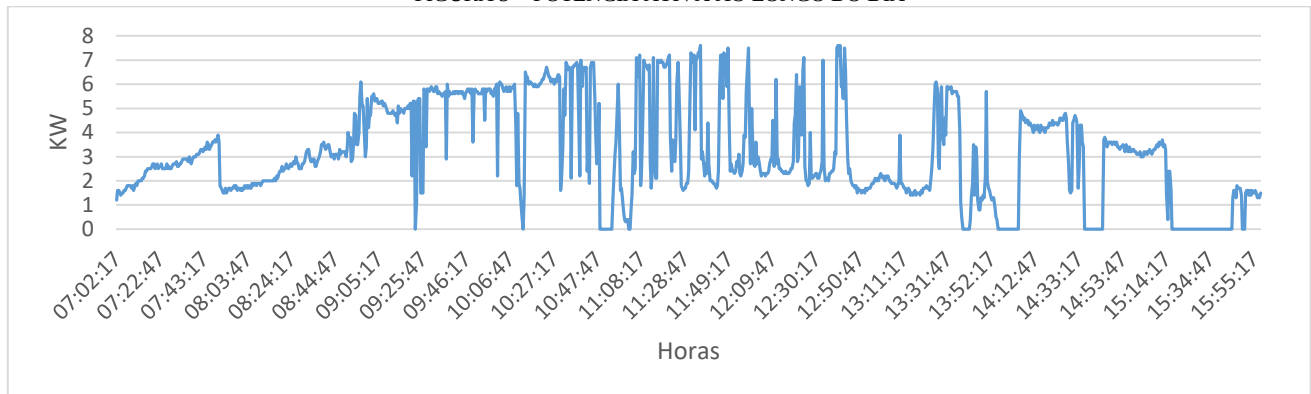
O analisador de energia elétrica mediu dados de potências ativa, reativa e aparente como mostra as Figuras 5,

6 e 7. As medições mostram o comportamento do sistema ao longo do dia.

A geração de energia do sistema se iniciou por volta de 7 horas da manhã e terminou por volta das 16 horas,

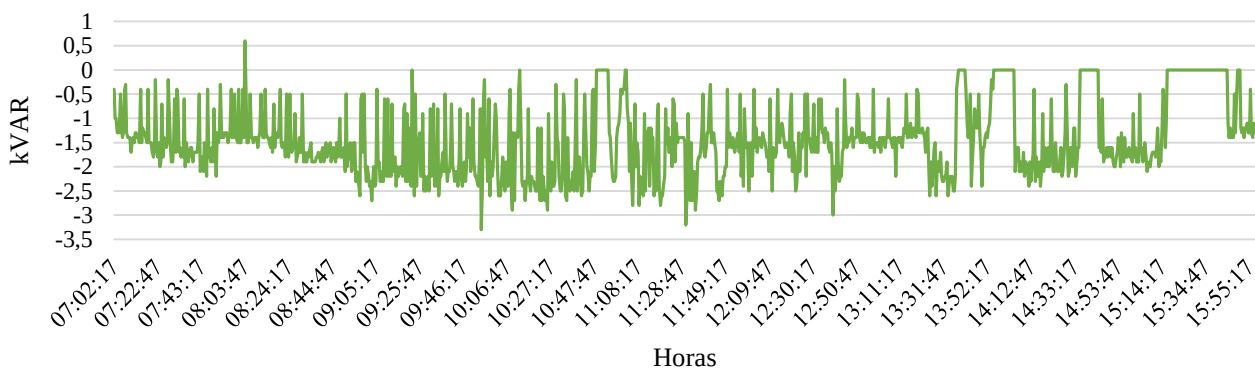
quando o sol já estava baixo e a inclinação do telhado impossibilitou a incidência de raios solares sobre as placas.

FIGURA 5 - POTÊNCIA ATIVA AO LONGO DO DIA



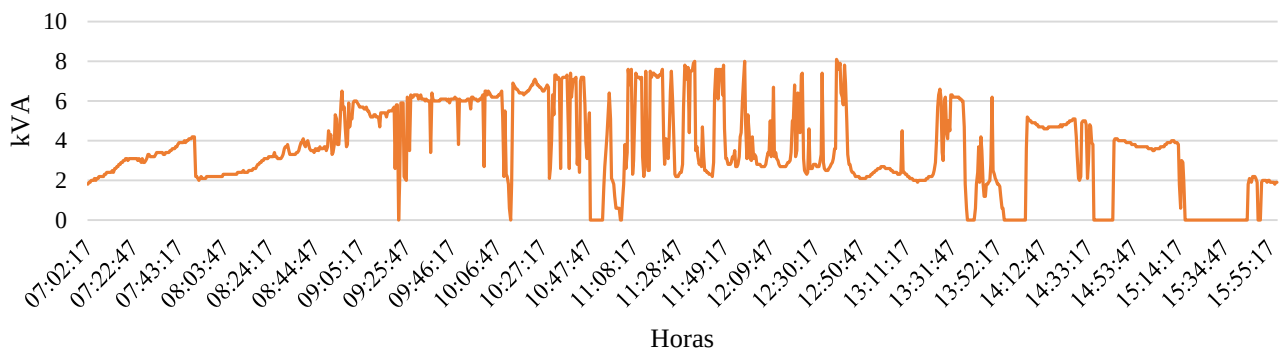
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 6 - POTÊNCIA REATIVA AO LONGO DO DIA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 7 - POTÊNCIA APARENTE AO LONGO DO DIA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Nas Figuras 5, 6 e 7 é possível perceber exibem curvas que variam bastante ao longo do dia, apresentando pontos altos e baixos em diversos horários, isso pode ser explicado devido à grande presença de nuvens na região. Durante o período de medição a potência ativa, reativa e aparente, chegaram a atingir cerca de 7,6 kW, - 3,3 kVAR e 8,1 kVA respectivamente e uma média ao longo do dia de cerca de 3,17 kW, -1,43 kVAR e 3,58 kVA.

Quanto a potência reativa, pode-se notar que ela apresenta valores negativos, isso deve-se ao fato de os

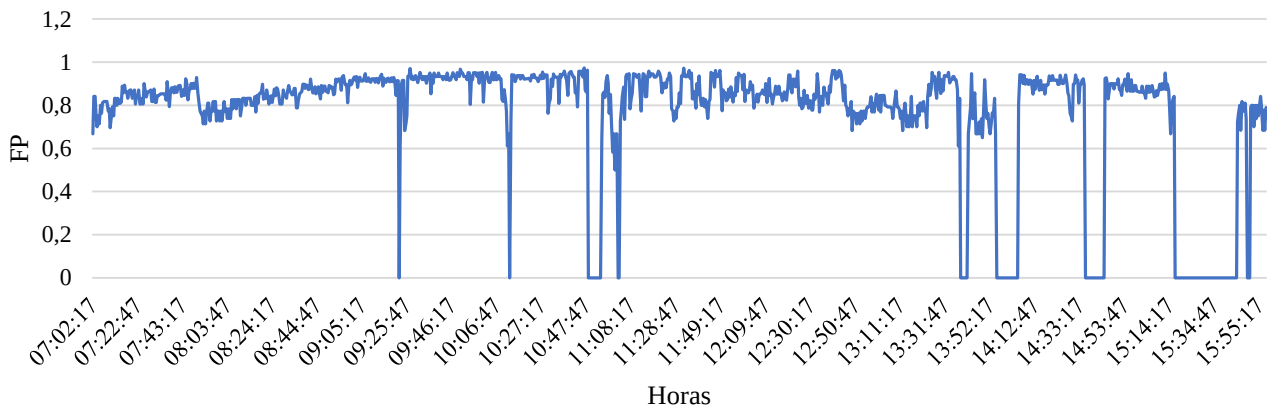
inversores estarem trabalhando com FP capacitivo. Essa prática permite uma geração de potência reativa de forma a compensar a demanda de reativos da unidade consumidora, porém ela pode causar aumento da tensão no ponto de conexão, provocado pelo fluxo de potência no sentido do gerador para a rede, e consequentemente causar desligamentos [12].

B. FATOR DE POTÊNCIA

período foram atingidos valores máximos 0,98 e uma média de 0,76.

Durante o mesmo dia foram analisados os valores referentes ao fator de potência como mostra a Figura 8. Nesse

FIGURA 8 - FATOR DE POTÊNCIA AO LONGO DO DIA

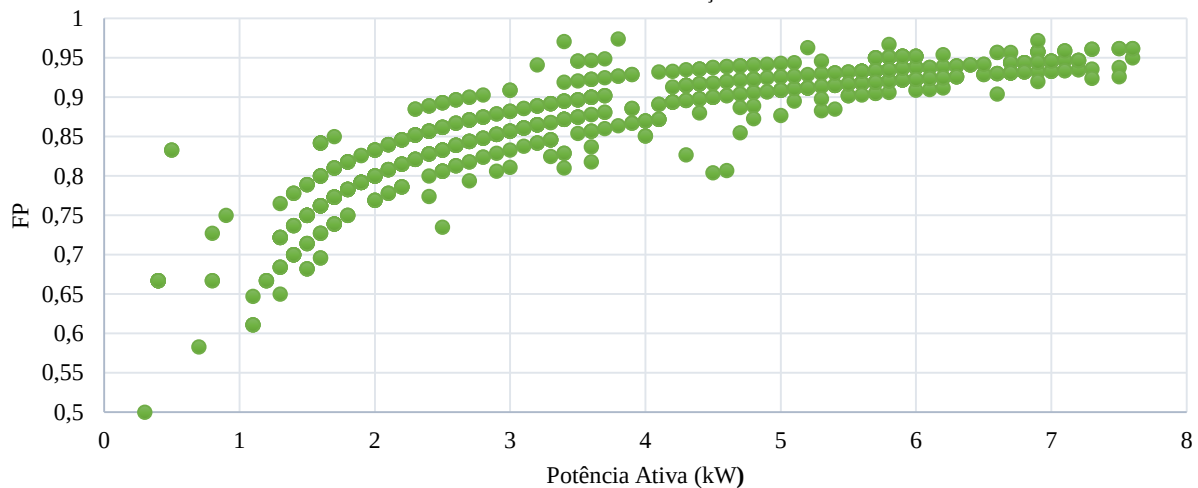


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

O FP é uma variável que é influenciada pela potência nominal do inversor, que quanto mais próximo de sua potência máxima o sistema conseguir operar, maior será o FP e maior será a energia ativa proporcional injetada na

rede, como ilustra a Figura 9. Como o SFCR analisado apresenta inversores sobredimensionados, isso acabou por diversos momentos causando um FP abaixo do adequado.

FIGURA 9 - FATOR DE POTÊNCIA EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA ATIVA



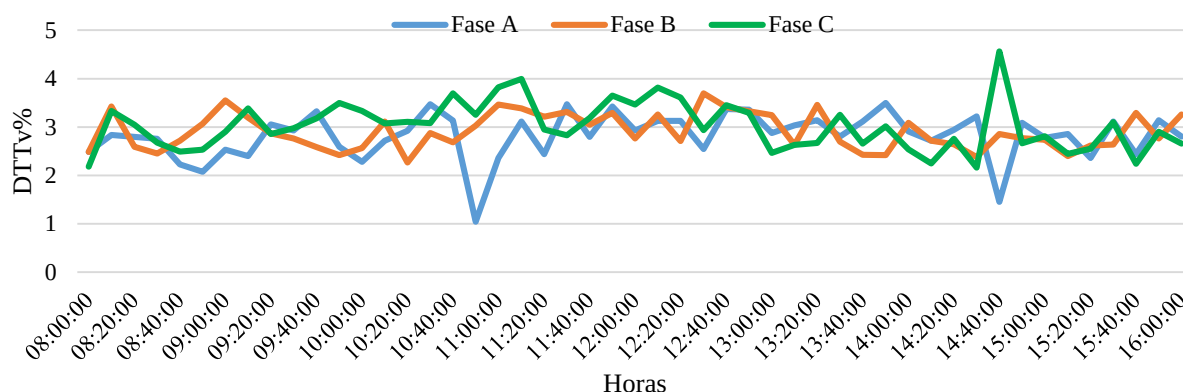
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

C. DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL DE TENSÃO (DTTv %)

A Figura 10, mostra o comportamento dos perfis de distorção harmônica total das tensões, nas três fases, monitoradas durante o período de funcionamento do SFCR.

Os DTTv apresenta poucas variações ao longo do dia, tendendo a valores aproximadamente constantes, isso se deve principalmente pelo fato de esse parâmetro ser influenciado pela rede de distribuição que também tende a manter os valores de tensão constantes.

FIGURA 10 -DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL DE TENSÃO



FORTE: AUTORIA PRÓPRIA

Observa-se nessa Figura 10 que os níveis de distorção harmônica são inferiores a 10% em conformidade com o PRODIST Módulo 8, atingindo valores máximos de 4,56 %.

As Tabelas 4, 5 e 6, trazem o resumo dos valores DTT%, DTTp%, DTTi% DTT3% medidos em cada fase.

TABELA 4 - VALORES MÁXIMOS E DE P95% DA DTT%, DTTp%, DTTi% E DTT3% - FASE A

	Valores Máximos	P95%	Limite de Distorção %
DTT%	3,50	3,45	10,0 %
DTTp%	1,87	1,66	2,5%
DTTi%	3,01	2,85	7,5%
DTT3%	1,49	1,39	6,5%

FORTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 5 - VALORES MÁXIMOS E DE P95% DA DTT%, DTTp%, DTTi% E DTT3% - FASE B

	Valores Máximos	P95%	Limite de Distorção %
DTT%	3,69	3,46	10,0 %
DTTp%	1,75	1,62	2,5%

DTTi%	3,26	2,88	7,5%
DTT3%	1,68	1,55	6,5%

FORTE: AUTORIA PRÓPRIA

TABELA 6 - VALORES MÁXIMOS E DE P95% DA DTT%, DTTp%, DTTi% E DTT3% - FASE C

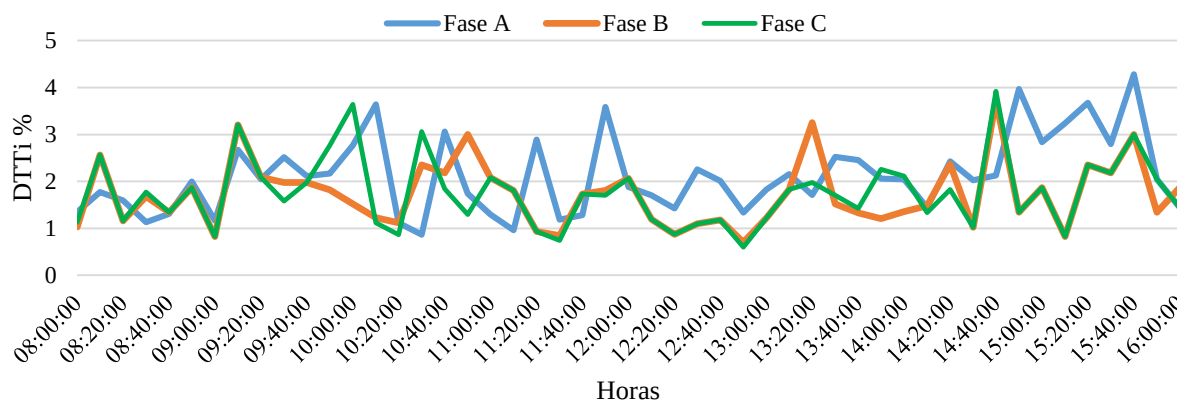
	Valores Máximos	P95%	Limite de Distorção %
DTT%	4,56	3,81	10,0 %
DTTp%	2,14	1,57	2,5%
DTTi%	3,47	3,34	7,5%
DTT3%	3,39	1,44	6,5%

FORTE: AUTORIA PRÓPRIA

D. DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL DE CORRENTE (DTTi)

A Figura 11 mostra o comportamento dos perfis de distorção harmônica total de corrente monitoradas nas três fases durante o período de funcionamento do SFCR.

FIGURA 11 - DISTORÇÃO HARMÔNICA TOTAL DE CORRENTE



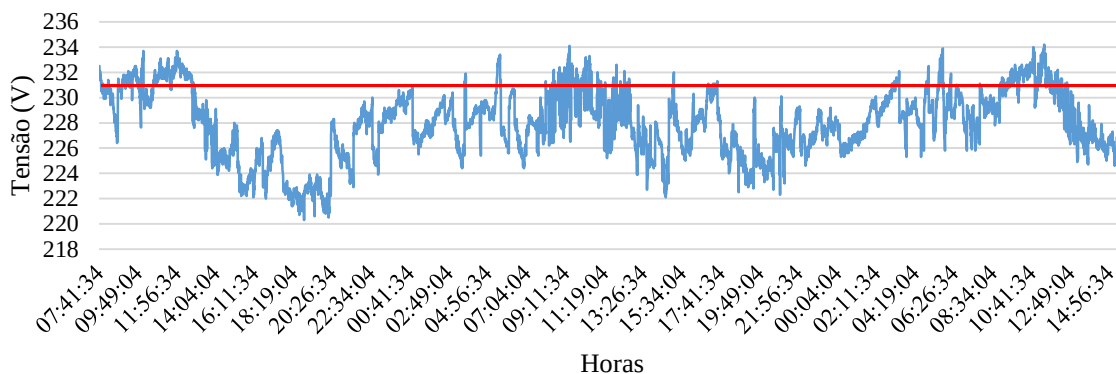
FORTE: AUTORIA PRÓPRIA

Os resultados mostraram uma DTTi máxima de 4,28%, 3,72% e 3,92%, nas fases A, B e C respectivamente. Os valores respectivos de P95% são de 3,66%, 3,12% e 3,15%. O Módulo 8 do PRODIST, que é a norma a ser obedecida, não estabelece um limite máximo de distorção harmônica total de corrente.

E. TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

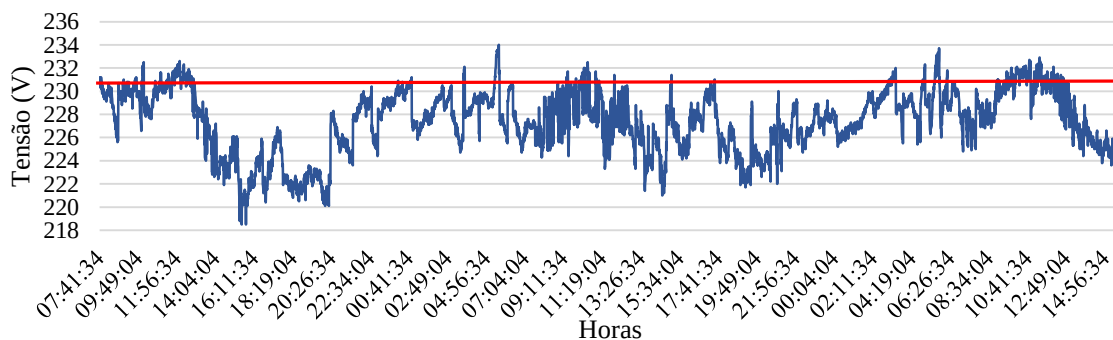
Neste ensaio buscou-se avaliar os níveis de tensão em regime permanente das três fases no ponto de junção dos inversores com a rede elétrica, sendo medidos durante um período 3 dias, onde foram obtidas cerca de 6700 amostras. Os resultados são apresentados nas Figuras 12, 13 e 14.

FIGURA 12 - TENSÃO EM REGIME PERMANENTE FASE A



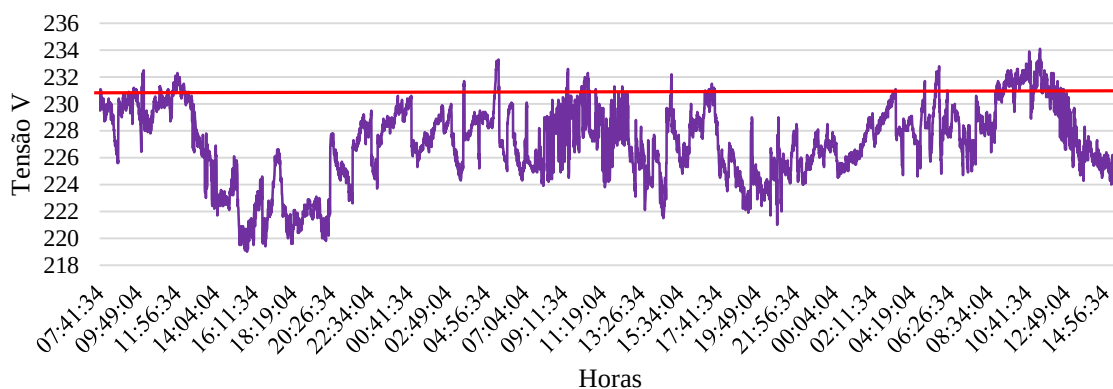
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 13 - TENSÃO EM REGIME PERMANENTE FASE B



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

FIGURA 14 - TENSÃO EM REGIME PERMANENTE FASE C



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

Os valores de tensão durante esse período de medição atingiram picos de até 234,2 V em algumas amostras, ou seja, se enquadrando, de acordo com a Figura 1, em níveis de tensão críticos.

Durante a noite verificou-se uma diminuição nos níveis de tensão atingindo 218,5 V, porém estes valores

variaram dentro da faixa de valores adequados estabelecidos no módulo 8 do PRODIST.

A tabela 7 apresenta um resumo dos resultados encontrados nas três fases.

TABELA 7 - VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS, P95% E MÉDIOS DA TENSÃO EM REGIME PERMANENTE

	FASE A	FASE B	FASE C
Máximo	234,2	234	234,1
Mínimo	220,3	218,5	219
P95%	232	231,2	231,4
Média	227,9064	227,3586	227,083

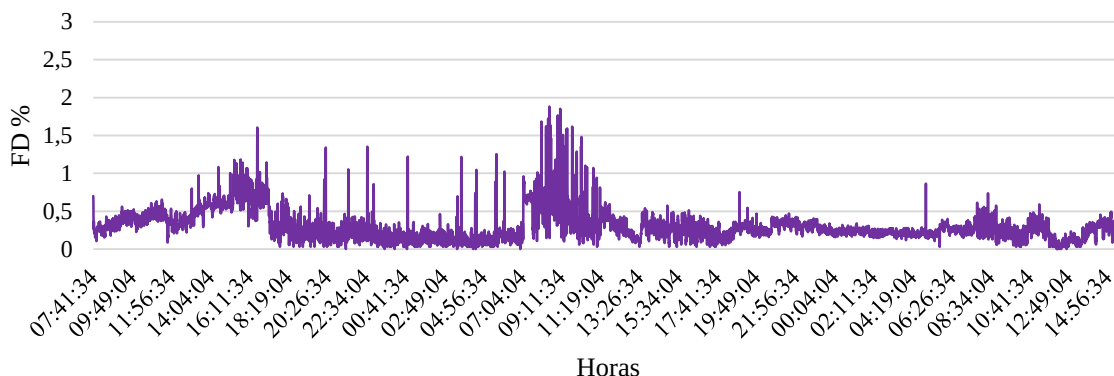
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

F. DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO

O fator de desequilíbrio de tensão monitorado, foi adquirido durante um período de 3 dias.

Os valores de FD alcançaram valores bem abaixo dos permitidos em norma, que permite até 3%. Os valores máximos atingido foi de 1,88% e uma média de 0,31%, durante os dias de monitoramento.

FIGURA 15 - DESEQUILÍBRIO DE TENSÃO



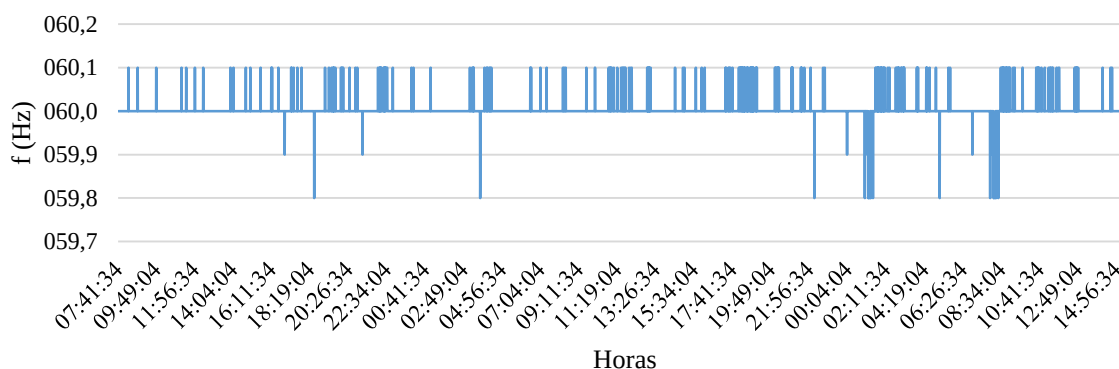
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

G. VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA

Na Figura 20 são apresentados os valores de frequência monitorados durante um período de três dias. Os valores de frequência variaram entre 59,8 Hz e 60,1,

mantendo em todo o período dentro dos limites estabelecidos pelo Módulo 8 da PRODIST. Sua média foi em torno 60 Hz durante os dias de medições.

FIGURA 16 - VARIAÇÃO DE FREQUÊNCIA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

V. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo quantificar os efeitos da inserção fotovoltaica na rede elétrica, para isso foram realizadas medições na saída do inversor instalado no Laboratório de Energia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Esse estudo buscou verificar o atendimento aos normas estabelecidos pelo PRODIST Modulo 8 relativos à QEE.

Para ao nível de DTTv, foi observado pequenas deformações na forma de onda. No entanto, os valores observados não são preocupantes, tendo atingido um valor máximo de 4,56 %, estando assim, longe dos valores limites estabelecidos pelo PRODIST. Os valores de DTT_p, DTT_i e DTT₃ também permaneceram dentro dos limites desejados.

Os valores de FP variaram bastante durante o dia, atingindo níveis desejados quando a potência injetada se

aproxima da potência nominal do inversor. Os baixos níveis de FP podem ser amenizados aumentando o número de módulos fotovoltaicos, visto que o inversor utilizado está sobredimensionado.

Ao analisar o desempenho da tensão em regime permanente verificou-se que durante o funcionamento do SFCR houve um aumento do nível de tensão da rede, chegando a atingir 234,2 V em alguns momentos, valores estes considerados críticos, segundo os limites estabelecidos pelo PRODIST. Estes níveis de tensão podem se tornar um problema, vindo a causar problemas na rede e danificar aparelhos elétricos.

Por fim, para os valores de desequilíbrio de tensão (FD), verificou-se máximos de 1,88% e assim como a variação de frequência, se manteve durante todo o processo dentro dos limites estabelecidos.

No final desse trabalho, conclui-se que os impactos causados foram pequenos e o desempenho do SFCR mostrou-se satisfatório, embora ainda haja há possibilidade de melhorias. O uso dessa tecnologia cresce bastante no Brasil e ampliar esse tipo de estudo é de grande importância para que o país ingresse com sucesso no uso dessa fonte de energia.

Ainda que o presente trabalho permita uma boa avaliação dos indicadores de QEE no SFCR é sugerido para trabalhos futuros um estudo, durante um maior período de tempo, afim de verificar a variação desses indicadores a partir das mudanças de radiação e diferentes condições climáticas ao longo de todo o ano.

REFERÊNCIAS

- [1] Empresa de Pesquisa Energética - EPE (Org.). Balanço Energético Nacional 2018. Rio de Janeiro: Epe, 2018..
- [2] NUNES, Evandro Ailson de Freitas. Análise de Impactos na Rede de Distribuição de Energia Elétrica Decorrentes da Inserção de Sistemas de Geração Fotovoltaicos. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- [3] ROCHA, T. de O. A. Contribuições para a estratégia de controle aplicada à geração fotovoltaica interconectada à rede elétrica. Tese de doutorado, Dezembro 2015.
- [4] BELISKI, Letícia Mara. ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UNIDADES PROSSUMIDORAS RESIDENCIAIS. 2017. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.
- [5] MOLIN, Gustavo Dagios dal. ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE. 2014. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- [6] Agência nacional de energia elétrica. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 794/2017: Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Brasília: Aneel, 2017.
- [7] GARCIA., Eng. Flávio Resende. HARMÔNICOS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA. Disponível em: <http://www.iesa.com.br/institucional/pdf/pdf_reativa/ap_harmonicosepCap.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2018.
- [8] ANEEL.AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 794/2017: Módulo 1 dos

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Brasília: Aneel, 2017

- [9] ABB. ABB string inverters PVI-10.0-TL-OUTD. 2018. Disponível em: <<http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=BCD.00378&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Acesso em: 19 ago. 2018.
- [10] INSTRUTEMP. ANALISADOR DE ENERGIA ITAE-3600 MANUAL DE INSTRUÇÕES. 2018. Disponível em: <http://instrutemp.provisorio.ws/2010_09/Analizador%20de%20Energia%20Instrutemp%20ITAE-3600.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2018.
- [11] TES ELECTRICAL ELECTRONIC CORP. TES 3600N 3P4W Power Analyzer. 2018. Disponível em: <http://www.tes.com.tw/en/product_detail.asp?seq=263>. Acesso em: 19 ago. 2018
- [12] PINTO, A., ZILLES, R., BET, I., Excedente de Reativos em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência LatinoAmericana da ISES. São Paulo, SP, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/100/contribuicao/aime_pinto_ap100_2012.pdf>. Acesso em: 03 set. 2018

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 10:00 horas do dia 12 de setembro de 2018, no Laboratório de Energias Renováveis, Campus Leste da UFERSA, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno Silvio Lima Bandeira, aluna do curso de Engenharia Elétrica desta instituição, com o título **"ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE"**. A Banca Examinadora foi constituída pelos professores, Romênia Gurgel Vieira, presidente da banca e orientadora do trabalho; Maria Izabel da Silva Guerra e co-orientadora do trabalho e Samanta Mesquita de Holanda. Foram registradas as seguintes ocorrências: foi apresentado o trabalho pelo discente e houve arguição por parte dos membros da Banca Examinadora. A defesa foi pública com a presença de outras pessoas. As sugestões de alterações textuais foram entregues ao aluno que se comprometeu em fazê-las na sua totalidade. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da Banca Examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10,0, 10,0, 10,0. Apuradas as notas, verificou-se que o aluno foi **APROVADO** com média geral 10,0; cumprindo as exigências para a aprovação da disciplina Projeto de Engenharia Elétrica. E, para constar, eu, Romênia Gurgel Vieira, presidente da Banca Examinadora e Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno Silvio Lima Bandeira lavrei a presente ata que, após lida e considerada conforme, segue assinada pelos Professores membros da Banca Examinadora.

Mossoró, 12 de setembro de 2018

Romênia Gurgel Vieira
Prof. Msc. Romênia Gurgel Vieira
Presidente

Samanta Mesquita de Holanda
Prof. Msc. Samanta Mesquita de Holanda
Membro

Maria Izabel da Silva Guerra
Prof. Msc. Maria Izabel da Silva Guerra
Membro