



Artigo

Influência da geração solar fotovoltaica no fator de potência de unidades consumidoras do grupo A: Um estudo de caso na UFERSA – Campus Mossoró

Thyago Lucas Ferreira Clemente^[1], Ednardo Pereira da Rocha^[2] Adriano Aron Freitas de Moura^[3] e Victor de Paula Brandão Aguiar^[4]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; thyagolucasfc@hotmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; ednardo.pereira@ufersa.edu.br

^[3] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; adrianoaron@ufersa.edu.br

^[4] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; victor@ufersa.edu.br

Recebido: 04/06/2022;

Aceito: 21/12/2022;

Publicado: 23/12/2022.

Resumo: Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (On-grid) em sua maioria de geração distribuída, em que sua geração é próxima do consumo, apresentam influência sobre a rede elétrica na vizinhança do local de instalação. Com o crescimento desse tipo de geração, a implementação de uma grande quantidade de sistemas fotovoltaicos previamente não esperados pela concessionária podem sobrecarregar os transformadores de potência mais próximos, além de outros efeitos na rede elétrica de energia. Este artigo tem como objetivo a análise dos impactos no fator de potência (FP) ocasionados por sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em Unidades Consumidoras (UCs) de alta tensão (grupo A), especificadamente na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Mossoró. Também cabe ao artigo revisar conceitos importantes ligados às modalidades tarifárias existentes, a tarifação dos consumidores do grupo A e a produção e crescimento do sistema fotovoltaico na UFERSA - Campus Mossoró. Serão mostrados e avaliados os valores de fator de potência, fornecidos pela instituição através do arquivo de memória de massa de um medidor do campus e será discutido a influência na rede local e os métodos compensatórios para correção desse fator em um período de 31 dias, entre os dias 27 de setembro a 27 de outubro de 2019. Como conclusão chega-se que é fundamental o estudo de compensação de reativos para as unidades consumidoras do grupo A para que não sejam tarifados seus excedentes reativos por fator de potência abaixo de 0,92.

Palavras-chave Conectado à rede elétrica, influência, fator de potência, grupo A, memória de massa.

Abstract: Photovoltaic systems connected to the grid (On-grid) mostly of distributed generation, in which their generation is close to consumption, have an influence on the electrical grid in the vicinity of the installation site. With the growth of this type of generation, the implementation of a large number of photovoltaic systems not previously expected by the utility can overload the nearest power transformers, in addition to other effects on the power grid. This article aims to analyze the impacts on the power factor (PF) caused by photovoltaic systems of distributed generation in Consumer Units (UCs) of high voltage (group A), specifically at the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró campus. It is also up to the article to review important concepts related to the existing tariff modalities, the pricing of group A consumers and the production and growth of the photovoltaic system at UFERSA - Campus Mossoró. The power factor values provided by the institution through the mass memory file of a campus meter will be shown and evaluated and the influence on the local network and the compensatory methods to correct this factor will be discussed in a period of 31 days, between September 27th to October 27th, 2019. As a conclusion, it is concluded that the study of reactive compensation for group A consumer units is essential so that their reactive surpluses are not charged by power factor below 0.92.

Key-words: On-grid, influence, power factor, group A, mass memory.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil em setembro de 2020 totalizou 40.227 GWh, representando avanço de 2,6% em relação ao mesmo período do ano anterior. O setor residencial lidera a demanda nacional de eletricidade, em setembro, com um crescimento de +7,6%, acompanhada pelo setor industrial, com crescimento +5,7%. Já, a classe comercial sofreu um decréscimo de 8,0% se comparado com o mesmo período de 2019, resultados dos impactos do distanciamento social devido à pandemia da COVID-19 [1]. Todas as regiões do país apresentaram expansão do consumo de energia durante a pandemia [2], fator observado pela diminuição e flexibilização dos horários de trabalhos e maior tempo de permanência nas residências durante os decretos estaduais e recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS). Para compensar esse aumento no consumo, muitos consumidores estão buscando o investimento em energia fotovoltaica (ABSOLAR) [3].

O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2020 – ano base de 2019 - demonstra que a energia hidráulica continua como principal fonte da matriz elétrica brasileira, correspondendo a 64,9% da geração elétrica. Este balanço também aponta o crescimento da microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica, devido às ações de compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte [3].

Na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 4.919 MW, ou seja 67,6% do total adicionado. Destaque para a Geração Distribuída de energia fotovoltaica, que em 2019 possuía uma potência total instalada de 1 GW, e em janeiro de 2020 dobrou para 2 GW e em junho de 2021 alcançou a marca de 3 GW [4].

A geração distribuída é definida no Decreto Lei nº 5.163/2004, como sendo “toda produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador”. Em 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482 que regulamentou o processo de Geração Distribuída (GD) permitindo contabilização de créditos pelas concessionárias. Em 2015, a ANEEL publicou a sua atualização, a Resolução Normativa nº 687 [5].

No Brasil, as Unidades Consumidoras são divididas em grupos, chamados de grupo A e grupo B, dependendo do nível de tensão de fornecimento. Além disso, de acordo com a Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL, os consumidores podem ser identificados de acordo sua atividade principal, ou seja, a finalidade do consumo da energia [6].

A geração distribuída, especialmente a dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (Sistemas On-Grid), trouxeram novos desafios às concessionárias de distribuição de energia, devido ao acompanhamento e controle de faturamento das unidades consumidoras [8]. As unidades consumidoras do grupo A, composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou potência total instalada igual ou superior a 75 kW.

Esses são caracterizados pela tarifa binômia, e diferentemente dos consumidores do Grupo B que são tarifados apenas pelo consumo e possuem medidores bidirecionais de potência, os consumidores do Grupo A utilizam-se de medidores de 4 quadrantes, capazes de mensurar o fluxo bidirecional da energia ativa e da energia reativa [9].

Os Sistemas fotovoltaicos On-Grid durante o dia geram parte da potência ativa necessária para o funcionamento das cargas e o excedente irá para o banco de dados da concessionária. Segundo a REN N°482/2012, a energia ativa injetada na rede da concessionária deve ser abatida do faturamento mensal ativo das unidades consumidoras, e em caso de saldo de geração, a energia injetada poderá ser redirecionada para outras UCs [10]. O faturamento ocorre pela diferença entre a energia consumida e a injetada, adicionados o crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores [6]. Quanto ao faturamento da demanda de energia ativa, do consumo reativo e da demanda reativa, a REN N°482/2012 e suas revisões estabelecem que devem ser seguidas as regras aplicadas aos demais consumidores do mesmo subgrupo.

Os consumidores do grupo A possuem uma maior demanda de potência, necessitando de maiores sistemas fotovoltaicos para suprir parte de seu consumo, com isso, maiores usinas de energia solar acabam por produzir uma maior potência energética, injetando uma maior potência ativa na rede, necessitando de uma menor quantidade de potência ativa da rede da concessionária, elevando proporcionalmente a circulação de energia reativa, piorando o fator de potência [7]. Como as usinas fotovoltaicas produzem e entregam apenas energia ativa para a rede, a energia reativa necessária para o funcionamento de alguns equipamentos continua sendo demandada da rede elétrica.

Com a redução da necessidade e fornecimento de potência ativa da rede da concessionária e a manutenção do fornecimento de potência reativa, haverá uma diminuição do FP no ponto de entrega das UCs ao longo do dia, e conseqüentemente poderá ocasionar cobranças adicionais aos consumidores do grupo A, já esses são passíveis de cobrança por descumprimento do fator de potência mínimo de 0,92.[6], diminuindo a viabilidade econômica e aumentando o tempo de retorno financeiro (Payback) do investimento realizado. Este trabalho visa a análise dos efeitos da geração solar fotovoltaica no fator de potência e na viabilidade financeira para as unidades consumidoras do grupo A, mais especificamente, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus Mossoró, verificando se a alteração no fator de potência implicaria em custos extras para a instituição e redução na qualidade de energia entregue pelo sistema de geração.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este tópico apresenta aspectos relevantes das formas em que os consumidores de Grupo A são tarifados e quais parâmetros são observados, dando ênfase à disponibilização da memória de massa fornecido pela concessionária de energia.

2.1. Bandeiras Tarifárias

Desde o ano de 2015, as contas de energia são tarifadas de acordo com o sistema de Bandeiras Tarifárias. Esse sistema indica se haverá acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final, em função das condições de geração de eletricidade [11]. Cada modalidade apresenta as seguintes características

- Bandeira verde: Geração de energia em condições favoráveis. Não há acréscimos na tarifa;
- Bandeira amarela: Geração de energia em condições menos favoráveis. Acréscimo de R\$ 0,01343 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;
- Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. Acréscimo de R\$ 0,04169 para cada quilowatt-hora kWh consumido;
- Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. Acréscimo de R\$ 0,06243 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

2.2. Postos horários

Os postos tarifários permitem que os consumidores paguem por preços diferenciados ao longo do dia e da semana. Este período é classificado pela concessionária e está associado aos horários de maior consumo energético durante a semana [12].

- Horário de ponta: Corresponde ao intervalo de 3 horas diárias consecutivas definida pela concessionária considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, de segunda à sexta-feira.
- Horário Fora da Ponta: Corresponde às horas complementares ao horário de ponta e finais de semana.

2.3. Período Seco e Úmido

O período Úmido compreende o intervalo situado entre os meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte, período de maior precipitação pluviométrica. Já o período seco compreende entre os meses de maio a novembro de cada ano, período em que a disponibilidade de água fluente nos mananciais é mínima. Neste período o fornecimento de energia leva à necessidade de se construir grandes reservatórios para estocagem de água e, eventualmente, operar com usinas térmicas alimentadas por combustíveis derivados do petróleo, o que implica aumento de custos para a concessionária. Devido a estas características do comportamento da carga ao longo do dia e ao longo do ano, foi concebida uma estrutura tarifária denominada horo-sazonal [14].

2.4. Tarifação Grupo A

Grupo A é composto pelos consumidores atendidos com alta tensão de 2,3 kV a 230 kV. No grupo A são formados subgrupos classificados de acordo com o nível de tensão que são atendidos, mostrado na Tabela 1.

TABELA 1. Estrutura do grupo A.

Grupo A	
Subgrupo	Tensão de fornecimento
A1	igual ou superior a 230 kV
A2	de 88 a 138 kV;
A3	69 kV;
A4	2,3 a 25 kV;
A2	Sistema subterrâneo

Fonte: adaptado de [6].

Os consumidores do Grupo A tem tarifa binômia, isto é, são cobrados tanto pela demanda quanto pela energia que consomem [15]. Estes consumidores são enquadrados em uma das três alternativas tarifárias:

- Tarifação Convencional: São aplicadas às unidades consumidoras do grupo A e são caracterizadas por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;

- Tarifação horo-sazonal azul: São aplicadas às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência.
- Tarifação horo-sazonal verde: Aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia.

2.5. Faturamento para o Grupo A

Para o suprimento de sua demanda energética, os usuários do Grupo A pré-estabelecem a potência necessária para um ciclo mensal, e cabe à distribuidora responsável em ceder a quantidade de potência de rede demandada pelo consumidor, por meio de contratos de demanda previamente adquiridos. Esses contratos com valores fixos estabelecidos e valores variáveis proporcionais à quantidade de energia elétrica efetivamente consumida.

O faturamento desses consumidores é composto de duas parcelas, na qual a primeira refere-se à demanda de potência, referente à demanda contratada previamente ou calculada através da demanda máxima aferida, como cobrança fixa. Já a segunda refere-se ao pagamento proporcional à quantidade de energia elétrica consumida [14].

2.6. Energia Ativa, Reativa e Fator de Potência

A energia ativa é a que se converte em trabalho e a energia reativa é a parcela que circula entre os campos elétricos e magnéticos [6]. A energia reativa está relacionada aos campos elétricos e magnéticos de equipamentos de corrente alternada [16]. De acordo com a Resolução 414, as instalações elétricas dos consumidores devem cumprir fator de potência mínimo de 0,92 (capacitivo ou indutivo) [6]. Um baixo fator de potência traz riscos e prejuízos à unidade consumidora, desde variações de tensão, condutores aquecidos, perdas de energia, reduções no aproveitamento da capacidade de transformadores e encarecimento da conta de energia. A correção desse fator é de suma importância para o consumidor de alta tensão.

A relação entre energia ativa e reativa consumidas em um sistema é o parâmetro denominada de Fator de Potência (FP), que pode ser calculado através da razão entre a potência ativa e a potência aparente, de acordo com a equação 1.

$$\text{Fator de potência} = \frac{\text{Potência Ativa}}{\text{Potência Aparente}} \quad (1)$$

Assim, dentre as alterações causadas pela inserção de micro e minigeradores está a diminuição do FP no ponto de entrega. Isso acontece porque os sistemas fotovoltaicos são projetados para gerar energia ativa e injetar o excedente na rede. Logo, mesmo que as cargas continuem em regime normal de funcionamento, a parcela ativa demandada da concessionária é menor. Em contrapartida, a mesma quantidade de energia reativa continua sendo consumida da rede de distribuição. Por isso, como o cálculo do FP considera apenas as energias consumidas em determinado momento, o fator de potência no ponto de entrega está sujeito à cobranças devido ao descumprimento do valor mínimo exigido pela concessionária [17].

2.7. Geração fotovoltaica distribuída

A geração distribuída, especialmente a dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (Sistemas On-Grid), trouxeram novos desafios às concessionárias de distribuição de energia, devido ao acompanhamento e controle de faturamento das unidades consumidoras [8].

Os Sistemas On-Grid são compostos por módulos fotovoltaicos que produzem energia em corrente contínua e os inversores fotovoltaicos, que são responsáveis pela conversão da corrente contínua em corrente alternada. Essa conversão injeta potência ativa na rede, necessitando de um menor consumo de energia ativa da distribuidora [7].

2.8. Influências da geração fotovoltaica distribuída

Os sistemas fotovoltaicos produzem energia ativa e se houver saldo de geração acabam por injetá-los na rede elétrica da concessionária. Com a produção e autoconsumo simultâneo e a parcela ativa demandada da concessionária é menor, mas ainda é utilizado a mesma quantidade de energia reativa da rede de distribuição [19]. Essa injeção de potência das usinas de micro e minigeração fotovoltaica na rede elétrica ocasiona a diminuição do fator de potência no ponto de entrega [17]. Dessa forma, com um FP menor que 0,92 indutivo, cobranças sobre excedente reativo poderão ser observadas.

A presença de geradores de energia próximos aos centros de consumo é benéfica ao setor, pois diversificam as fontes empregadas para produção de energia, a economia com a expansão das linhas de

transmissão e distribuição e a melhoria do nível de tensão da rede em algumas horas do dia [10]. Porém, o aumento da GD trás dificuldades de faturamento das UCs e necessidade de adequação dos procedimentos das distribuidoras para controlar e proteger suas redes, já que a proximidade da fonte com a carga é a principal causa do aumento do nível de tensão nos barramentos [18].

2.9. Métodos de correção e adaptação

Para evitar tarifação sobre consumo e excedentes reativos, os consumidores de alta tensão devem estudar e implantar métodos para avaliação da situação energética demandada por sua instalação. Para isso, deve-se analisar a memória de massa da unidade consumidora para compensação do consumo reativo durante os horários de geração do sistema fotovoltaico. Nesse cenário, considera-se o ajuste dos inversores utilizados como também a necessidade de aplicação de bancos de capacitores [20].

2.10. Memória de Massa

A memória de massa é uma ferramenta de gestão energética das unidades consumidoras. Os medidores com memória de massa são capazes de armazenar dados mais precisos e específicos de consumo ativo e reativo de energia elétrica. Esses medidores também são capazes de mensurar a demanda e tensão, considerado o fluxo direto de energia e o fluxo inverso de energia, em intervalados programáveis [12]. Para ter acesso à esse documento, deve-se solicita-lo à concessionária, através de e-mail e pagamento de taxas referentes à esse serviço [13]. Estes arquivos de memória de massa, aliados às informações comerciais, podem prover uma análise individual dos parâmetros elétricos em uma unidade consumidora, como também os dados compostos do sistema de medição dos clientes.

3. METODOLOGIA

Neste tópico será discutida a metodologia utilizada para elaboração do trabalho, como a análise da memória de massa da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró (UFERSA Campus Mossoró), em um período de 32 dias, entre os dias 27 de setembro a 27 de outubro de 2019. E a composição das usinas fotovoltaicas atuais e no período estudado.

3.1 Usinas Fotovoltaicas UFERSA

A UFERSA Campus Mossoró dispõe atualmente de 12 usinas Fotovoltaicas, dispostas na Tabela 2. Totalizando uma potência instalada de 950,52 kWp.

TABELA 2. Composição das Usinas Fotovoltaicas da UFERSA Campus Mossoró.

USINA	POTÊNCIA [kWp]	DATA DE INSTALAÇÃO
Mossoró I	3,43	dez/2015
Mossoró II	150,80	nov/2016
Mossoró III	15,60	mar/2018
Mossoró IV	147,00	mar/2019
Mossoró V	92,83	ago/2020
Mossoró VI	92,83	ago/2020
Mossoró VII	95,18	ago/2020
Mossoró VIII	95,18	set/2020
Mossoró IX	95,18	set/2020
Mossoró X	92,83	ago/2020
Mossoró XI	92,83	set/2020
Mossoró XII	69,66	set/2020

Fonte: Adaptado [21]

Até o período compreendido entre setembro à outubro de 2019, a UFERSA Campus Mossoró era disposta apenas das usinas solares Mossoró I, Mossoró II, Mossoró III e Mossoró IV.

3.2 Software Elo 50

O software utilizado para análise da memória de massa utilizado foi produzido pela empresa Elo Sistemas Eletrônicos S.A. A empresa atua com a área de tecnologia da informação, e utiliza-se de equipamentos na coleta de dados para comercialização de energia elétrica, medição fiscal e combate à fraude. Aplicam-se também na

análise de rede, visando redução de perdas e ainda no gerenciamento de energia. Certificada pela norma ISO 9001:2008, a Elo também executa projetos especiais de medição, como painéis para Pontos de Suprimento e Intercâmbio, cogeração de energia elétrica, consumidores horo-sazonais ou outra aplicação similar.

3.3 Memória de Massa da UFERSA Campus Mossoró

O arquivo para análise da memória de massa é o LC 4713, do ano de 2019, sendo o último que foi solicitado e que está disponível. A análise será focada no fator de potência, com a influência da produção das usinas de energia fotovoltaica nos horários de seu funcionamento [22], que compreende os horários entre 6h às 18h como mostra a Figura 1.

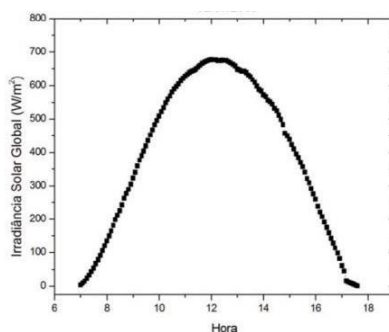


FIGURA 1. Irradiância solar global no Brasil. (ENERGÊS [22])

4. RESULTADOS

O presente artigo propõe uma análise em um período de 30 dias, compreendido entre 27 de setembro e 27 de outubro de 2019, através da leitura da memória de massa fornecida pela UFERSA Campus Mossoró neste período. Neste período a UFERSA contava apenas com as usinas fotovoltaicas UFERSA I, UFERSA II, UFERSA III e UFERSA IV, totalizando uma potência instalada de 316,83 kWp [21].

Para a análise é necessário frisar que o posto horário de ponta está compreendido entre as 17h30min às 20h30min. Outro fator importante de se destacar é que a temporada analisada compreendia o período seco do ano, sendo repassado aos clientes um aumento por kWh consumido. A Universidade Federal Rural do Semi-Árido é participante da tarifa horo-sazonal verde, que é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia.

4.1 Análise Mensal de Demanda Energética

O período mensal observado compreendia uma sexta-feira como primeiro dia de análise, e um domingo como último dia. Percebe-se um comportamento padrão durante o decorrer dos dias da semana, sendo os finais de semana e feriados com uma baixa demanda energética. Também é notório um comportamento padrão durante a semana letiva, mostrado na Figura 2.

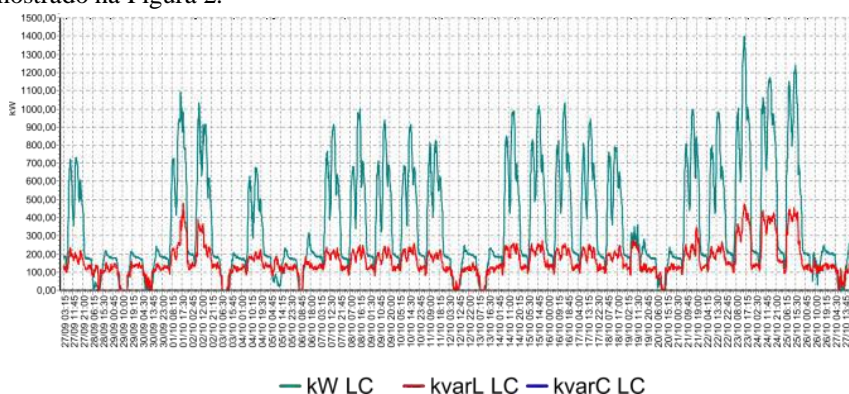


FIGURA 2. Demanda energética UFERSA entre 27 setembro a 27 outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

A demanda de potência ativa (em kW) está representada pelo gráfico de maior amplitude, já a demanda

de potência reativa indutiva (em kVAr) está representada pelo gráfico logo abaixo. Não foi possível observar a presença de potência reativa capacitiva neste período.

4.2 Análise Mensal do Fator de Potência

Para o mesmo período foi observado o comportamento do fator de potência da UFERSA, em uma escala de 0 a 100, sendo os valores representados a partir de agora em casas decimais de 0,0 (para valores próximos a 0) a 1,00 (para valores próximos a 100). Percebe-se um comportamento padrão durante o decorrer dos dias da semana, em que na maior parte do período observado nota-se o FP oscilando entre 0,70 a 0,95. Também há momentos em que o FP está unitário (FP = 1,0) e zerado que serão explicados nos próximos tópicos. A Figura 3 representa a leitura do fator de potência da UFERSA no período entre 27 setembro a 27 de outubro de 2019.

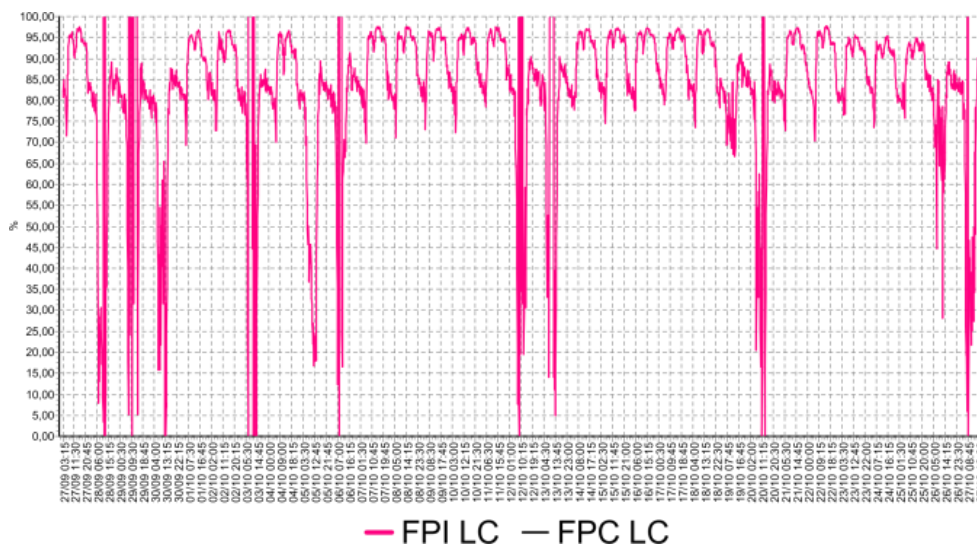


FIGURA 3. Fator de Potência UFERSA entre 27 setembro a 27 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

ELO50 - [Medidor: 15047130 Leitura: Recuperação 47130@DC.RQA]

Arquivo Janela Ajuda

Parâmetros | Falta De Energia | Registro De Alterações | Memória De Massa | Registradores | Me

Listagem Resumo Gráfico

Energia Ativa	Energia Reativa Indutiva	Energia Reativa Capacitiva	Tarifa De Reativos	Fator Potência
Condição		Valores	Data e Hora	
Médio Geral LC		91,38L		
Médio Ponta LC		93,29L		
Médio Fora Ponta LC		91,03L		
Máximo LC		100,00	28/09/2019	11:45:00
Mínimo LC		00,00L	28/09/2019	12:00:00
Médio Geral Indutivo LC		82,89		
Médio Geral Capacitivo LC		--/--		
Médio Geral Indutivo+Capacitivo LC		82,89		
Médio Ponta Indutivo LC		92,62		
Médio Ponta Capacitivo LC		--/--		
Médio Ponta Indutivo+Capacitivo LC		92,62		
Médio Fora Ponta Indutivo LC		81,97		
Médio Fora Ponta Capacitivo LC		--/--		
Médio Fora Ponta Indutivo+Capacitivo LC		81,97		
Máximo Indutivo LC		100,00	28/09/2019	11:45:00
Máximo Capacitivo LC		--/--		
Mínimo Indutivo LC		00,00L	28/09/2019	12:00:00
Mínimo Capacitivo LC		--/--		

FIGURA 4. Resumo do Fator de Potência (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

O estudo da memória de massa também nos forneceu um resumo da situação em que se encontra o FP no período observado. Para este período o FP geral médio aferido foi de 0,9138 (91,38%), demonstrando que está muito próximo do FP mínimo exigido pela concessionária [6]. Contudo, é observado que a média geral indutiva do FP está abaixo de 0,92, e que também não há presença de FP capacitivo em nenhum momento desde período. Os dados estão resumidos na Figura 4. Para ilustrar a análise do fator de potência, alguns dias são escolhidos aleatoriamente como domingo, quarta e sexta.

4.3. Análise do FP nos Domingos

Para melhor análise do comportamento do FP no período observado foi extraído a leitura dos domingos dia 29 de setembro, 6, 13 e 20 de outubro, representados pelas Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8, respectivamente.

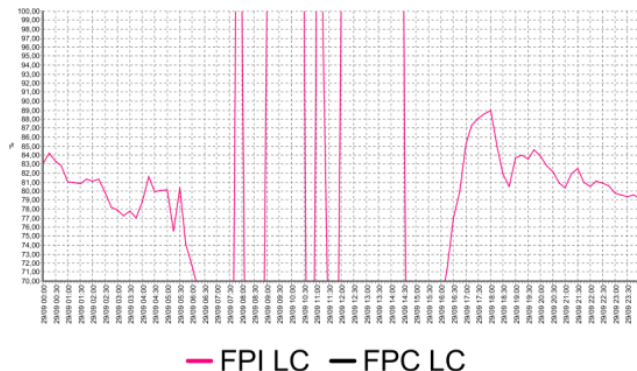


FIGURA 5. Fator de Potência 29 de setembro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

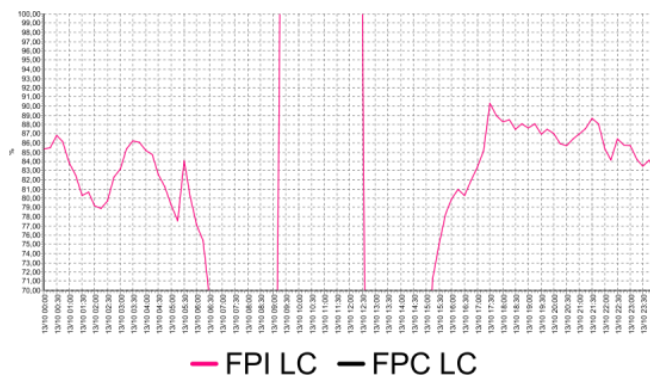


FIGURA 6. Fator de Potência de 6 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

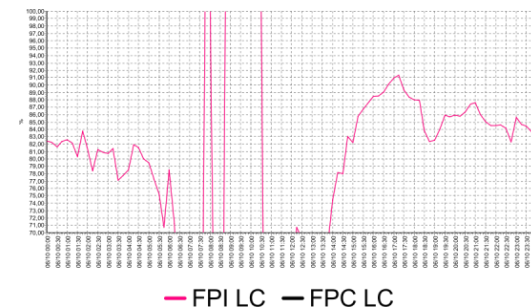


FIGURA 7. Fator de Potência de 13 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

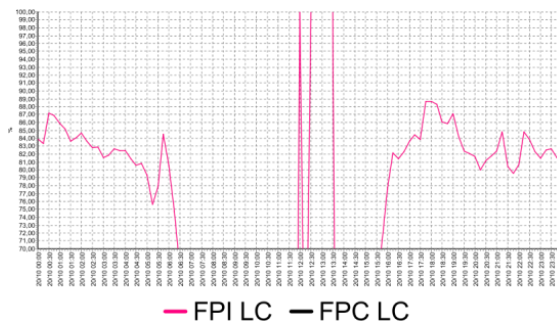


FIGURA 8. Fator de Potência de 20 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

Para os dias de domingo se observa um comportamento padrão, já que praticamente todos os processos produtivos, de serviços e ensino são dispensados na universidade. Porém alguns serviços de irrigação e de abastecimento de água são operados, utilizando-se de motores e bombas diversas no campus. Como referência observaremos o dia 13 de outubro. Nota-se que o FP varia entre o intervalo de 0,85 a 0,75, entre as 22 horas da noite às 6 horas da manhã do dia seguinte horários de demanda mínima na Universidade. Com isso a universidade é passível de cobrança referentes a multa, pelo descumprimento do fator de potência mínimo de 0,92 [6]. Esse fator é observado durante todas as noites do período analisado, sendo necessário o implante de bancos de capacitores para compensar a potência reativa indutiva do sistema elétrico nesse horário.

No amanhecer as usinas fotovoltaicas entram em operação e no período das 6 horas às 9 horas observa-se um decréscimo do FP para valores próximos de zero. Isso ocorre, devido a potência ativa produzida instantaneamente nas usinas ser superior à demanda do campus neste horário, sendo praticamente zerada a necessidade de potência ativa da rede. Contudo a energia reativa continua sendo demandada da concessionária [6], possivelmente pela necessidade de uso de bombas e motores em algumas atividades essenciais do campus, ocasionando uma baixa significativa do FP.

A partir das 9 horas ao meio dia o FP se mantém unitário devido a configuração dos inversores fotovoltaicos, que são programados para operar com FP constante e unitário, injetando apenas potência ativa no sistema, para que as chaves de comutação operem com eficiência máxima [23]. Neste período é quase nula a utilização de motores e bombas no campus, deixando de ser demandado a potência reativa da rede, elevando o FP ao valor unitário. Quando há necessidade de utilização de maquinários reativos à rede ou interferências na geração devido à sombreamentos ou atuações dos dispositivos de proteção pode haver variações no FP. Isso foi possível de ser notado pela observação nos demais domingos analisados.

O período da tarde é observado um crescimento vagaroso entre as 13h30min às 17h30min, período que a geração fotovoltaica é encerrada. A partir do anoitecer até o amanhecer o FP pouco varia e oscila novamente entre 0,75 a 0,85.

4.4 Análise do FP às Quartas-feiras

Para melhor análise do comportamento do FP no período observado foi extraído a leitura das quartas-feiras dos dias 2, 9, 16 e 23 de outubro, representados pelas Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12, respectivamente.

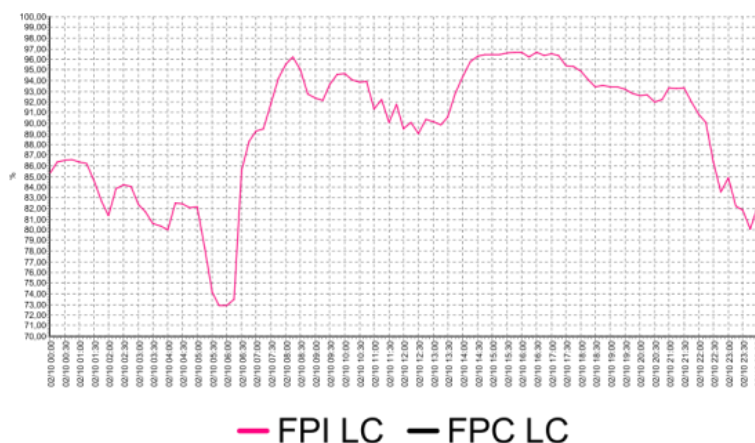


FIGURA 9. Fator de Potência de 2 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

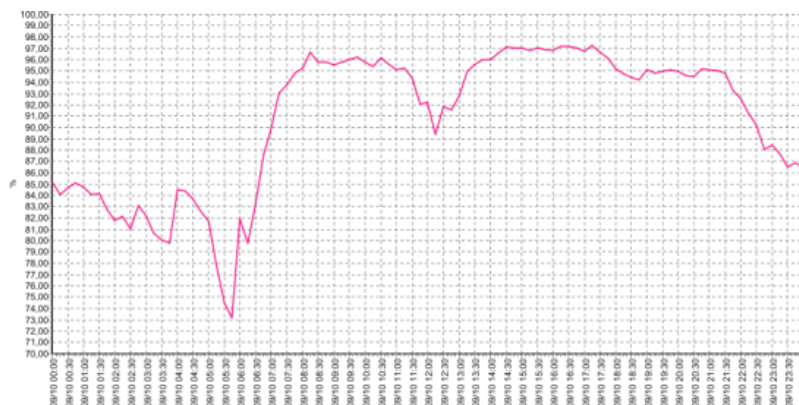


FIGURA 10. Fator de Potência de 9 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

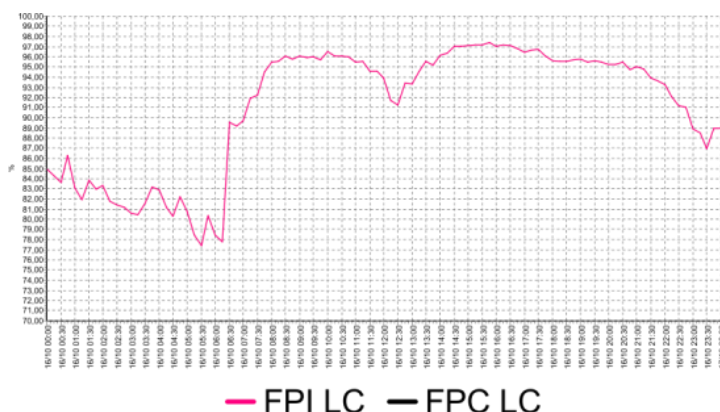


FIGURA 11. Fator de Potência de 16 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

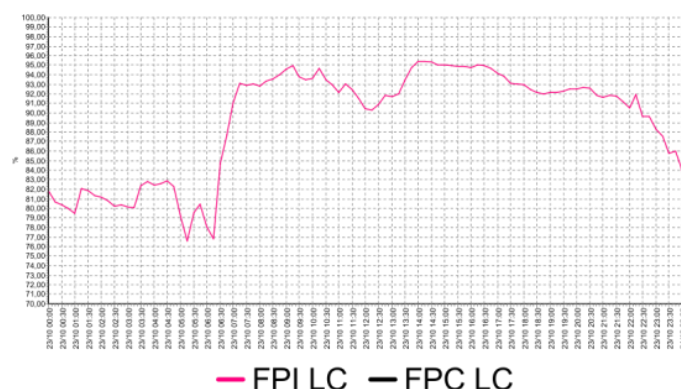


FIGURA 12. Fator de Potência de 23 de outubro de 2019 (Leitura da Memória de Massa [Arquivo LC 4713])

Para as quartas-feiras observa-se um comportamento padrão, já os horários de aulas e funcionamento são praticamente idênticos no período matutino, vespertino e noturno. Durante a madrugada o FP varia entre 0,75 a 0,85, como nos demais dias. Porém como está sendo analisado um dia letivo da semana, a demanda necessária de potência ativa é bem maior que nos fins de semana e feriados. A partir das 6 horas da manhã observa-se um aumento do FP e por volta das 7h30min o fator de potência já supera o valor de 0,92. É nesse período que os blocos laboratoriais, as salas de aula, os centros de vivência e os demais prédios administrativos iniciam suas atividades.

Deste modo, a produção energética das usinas fotovoltaicas da UFERSA não consegue suprir a demanda do campus, requerendo uma quantidade significativa de potência ativa e reativa da concessionária, mantendo o fator de potência acima de 0,92. A demanda energética do campus permanece durante todo o dia, mantendo-se acima de 0,92 até as 22h30min, onde volta a permanecer entre 0,75 a 0,85, como em todos os outros dias.

4.5 Análise do FP na Sextas-feiras

Para melhor análise do comportamento do FP no período observado foi extraído a leitura das sextas-feiras dias 4, 11, 18 e 25 de outubro. As curvas de potência ativa, reativa e de fator de potência durante a semana praticamente são iguais, porém é perceptível que nas sextas-feiras a demanda energética é menor se comparado aos demais dias da semana.

4.6 Fatores de Correção de Fator de Potência

Para uma instalação elétrica, principalmente de consumidores de alta tensão (Grupo A) é indicado a utilização de bancos de capacitores para correção de baixo fator de potência. Essa medida poderá ser utilizada em conjunto com as usinas fotovoltaicas para garantir uma melhor regulação da tensão nos barramentos e uma redução da potência reativa que circula nas linhas de transmissão e distribuição.

Do período da leitura da memória de massa, em setembro de 2019, até a data de escrita deste artigo, abril de 2021, as usinas fotovoltaicas da UFERSA triplicaram a potência total instalada, passando de 316,83 kWp para 950, 52 kWp, ficando para um trabalho futuro um novo estudo sobre a influência dessas usinas no fator de

potência aferida no medidor do campus.

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados, é possível concluir que para um melhor gerenciamento energético de uma unidade consumidora (UC) deve-se monitorar o fator de potência e outros parâmetros de qualidade de energia. Nesse estudo de caso, percebeu-se que o fator de potência está diretamente relacionado com a demanda energética ativa e reativa da UC observada, principalmente nos horários de maior produção energética das usinas fotovoltaicas, como também nos horários de maior demanda reativa da unidade consumidora.

Com a produção proveniente das usinas solares do campus estudado e sua injeção de energia ativa na rede elétrica da concessionária observa-se uma menor necessidade desse tipo de energia da rede durante os horários de produção, porém ainda será necessário o consumo da energia reativa da rede quando, ocorre a diminuição assim do fator de potência deste consumidor. Para os consumidores de alta tensão (grupo A) essa desarmonia causa prejuízos financeiros não observados para os consumidores de baixa tensão, pois estes são participantes da tarifa binômica, e são passíveis de cobrança por descumprimento do fator de potência mínimo de 0,92.

Outro fator importante está relacionado ao crescimento das usinas fotovoltaicas da UFERSA. No período da memória de massa fornecida o campus contava com apenas 4 usinas e uma potência total instalada de 316,83 kWp contra 950, 52 kWp instalado. A presença de usinas fotovoltaicas próximas aos centros de consumo é benéfica ao setor, pois, diversificam as fontes empregadas para produção de energia, propiciam a economia com a expansão das linhas de transmissão e distribuição e a melhoria do nível de tensão da rede em algumas horas do dia.

Em contrapartida o aumento da GD traz novas dificuldades em relação ao faturamento das UCs e adequação dos procedimentos das distribuidoras para controlar e proteger suas redes, já que a proximidade da fonte com a carga é a principal causa do aumento do nível de tensão nos barramentos.

Durante da análise de leitura e análise da memória de massa no medidor do campus Mossoró foi concluída a necessidade de compensar reativos. Os valores médios aferidos na Figura 4 e os gráficos de fator de potência apontam que esta grandeza medida estava abaixo do FP mínimo exigido pela concessionária, durante a madrugada inclusive. Como indicação de trabalhos futuros tem-se a análise do comportamento do fator de potência do campus com o pleno funcionamento de todas as 12 usinas do campus, assim como a análise da influência em dois períodos: da pandemia e pós-pandemia.

REFERÊNCIAS

- [1] Resenha Mensal. O Consumo de Energia Elétrica no Brasil em Setembro de 2020 TOTALIZOU 40.227 GWH. <<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/resenha-mensal-o-consumo-de-energia-eletrica-no-brasil-em-setembro-de-2020-totalizou-40-227-gwh>>. Acesso em: 16 abr. 2021.
- [2] ABSOLAR. Procura por Energia Solar Cresce 45% Durante Pandemia de COVID-19. <<https://www.absolar.org.br/noticia/procura-por-energia-solar-cresce-45-durante-pandemia-de-covid-19>>. Acesso em: 16 abr. 2021.
- [3] MME. Balanço Energético Nacional. 2020: ANO BASE 2019. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2020.
- [4] ABSOLAR. Geração Distribuída Fotovoltaica Cresce 230% ao Ano no Brasil. <<https://www.absolar.org.br/noticia/geracao-distribuida-fotovoltaica-cresce-230-ao-ano-no-brasil>>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- [5] ANEEL. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abr. de 2012.
- [6] ANEEL. Resolução Normativa N° 414, de 9 de setembro de 2010.
- [7] BENEDITO, Ricardo da Silva. Análise de um Mecanismo de Compensação de Reativos Incorporado aos Inversores de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica. 131 p. Tese de Pós-graduação (Doutorado) – Curso de Engenharia de Energia, Universidade de São Paulo, 2014.
- [8] VIEIRA, Cintia Vilain Viera. Análise dos Efeitos de um Sistema Fotovoltaico de Geração Distribuída no Fator de Potência de um Campus Universitário. 22 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, 2019.
- [9] ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. MÓDULO 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição: Seção 3.7 - Acesso de Micro e Minigeração Distribuída. 2017 Brasília.
- [10] ANEEL. Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída. 2016.
- [11] ANEEL. Bandeiras Tarifárias. 2015.
- [12] ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 5 – Sistemas de Medição. 2016.

- [13] SILVEIRA, Clodoaldo; RIBEIRO, Marcelo; GIRARDI, Eduardo. Sistema de Análise de Medição – Sistematização de uma Ferramenta de Proteção à Receita em Grandes Clientes na AES SUL. 16 p. XIX. SENDI, São Paulo, 2010.
- [14] MME. Energia Elétrica: Conceito, Qualidade e Tarifação. 130 p. Ministério de Minas e Energia, 2009.
- [15] MME. Programa Nacional De Conservação de Energia Elétrica. Manual de Tarifação da Energia Elétrica. 1ª Edição-MAIO/2001
- [16] FREITAS, Mateus Gouveia de. Custo/Benefício e Implantação de Sistema Fotovoltaico. Artigo científico. 15p, 2016.
- [17] GUSMAN, L.S.; PEREIRA, H.A.; CUPERTINO, A.F.; ANTÔNIO, A.S. Análise dos Efeitos da Utilização de um Sistema Fotovoltaico no Fator de Potência de uma Empresa Agroindustrial. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.
- [18] GONÇALVES, Rodrigo; BALLERINI, Bruna F; FREITAS, Edson L. Influência da Geração Distribuída em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. In: Brazilian Technology Symposium, Poços de Caldas - MG. 2016.
- [19] PINTO, A; ZILLES, R; BET, I. Excedente de Reativos em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES, 2012, São Paulo.
- [20] TAVEIRA, Isabela Maciel. A Influência da Geração Fotovoltaica no Fator de Potência de Unidades Prosumidoras: Uma Avaliação Técnica e Financeira. 83p. Fortaleza/CE. 2019.
- [21] UFERSA. As Usinas Solares. <<https://usinasolar.ufersa.edu.br>>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- [22] ENERGÊS. 10 Mitos sobre a Energia Solar. <<https://energes.com.br/fale-energes/10-mitos-sobre-a-energia-solar/>>. Acesso em: 25 abr. 2021.
- [23] ELSEROUGI Ahmed Abbas; ABDEL-KHALIK, Ayman Samy; MASSOUD, Ahmed M; AHMED, Shelab. A Simple Active-Power Control Technique for Grid-Connected Three-Phase Inverters at Unity Power Factor. in Power Engineering, Energy and Electrical Drives (Powereng), 2013 Fourth International Conference on, pp. 265-270. May 2013.