

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA EM CONSUMIDORES INDUSTRIAIS E PÚBLICOS.

Luana Holetz¹, Anderson Luiz Vidi², João Pedro Scheurich³, Marcos Fiorin⁴

¹Bolsista de Extensão da Graduação em Engenharia de Controle e Automação - IFC/holetzluana@gmail.com

²Bolsista de Pesquisa da Graduação em Engenharia de Controle e Automação - IFC /andersonlvidi@gmail.com

³Aluno colaborador da Graduação em Engenharia de Controle e Automação/joaopedro.pepe@gmail.com

⁴Professor Orientador do Instituto Federal Catarinense/marcos.fiorin@ifc.edu.br

Resumo: O artigo descreve as atividades realizadas nos estabelecimentos do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna e do Hospital São Roque, tendo como objetivo analisar a qualidade e a eficiência energética de suas instalações elétricas. Tendo como base trabalhos já realizados no campus nesta linha de pesquisa, foram aplicadas técnicas práticas e teóricas para realizar as análises destas instalações, métodos pragmáticos como medições de grandezas elétricas com equipamentos apropriados e análises de faturas de energia. As análises permitiram enumerar os agentes causadores da má qualidade de energia, como, desequilíbrio de cargas, a presença de harmônicos e baixo fator de potência. Para minimizar ou corrigir o problema da má qualidade de energia elétrica, algumas ações foram sugeridas e algumas destas aplicadas nestas instalações. No estabelecimento do Instituto Federal Catarinense foram realizadas reorganizações e redistribuições de cargas entre as fases e reparação de problemas no painel de correção do fator de potência. No estabelecimento do Hospital São Roque foram mensuradas propostas para readequação do contrato de demanda, embora apenas tenha sido sugerido ao estabelecimento boas práticas de utilização de energia. Dentre as soluções já implementadas, resultados positivos foram alcançados, a reorganização de cargas junto com a correção dos problemas do painel de correção de fator de potência melhorou o índice de qualidade de energia. Espera-se que com as medidas propostas os problemas encontrados sejam minimizados e a conformidade com as normas seja garantida.

Palavras-Chave: Qualidade de energia elétrica, Eficiência energética, Instalações elétricas.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a grande disseminação de equipamentos elétricos e eletrônicos em estabelecimentos industriais, comerciais e residenciais traz a necessidade de uma expansão eminente da matriz energética. Uma prática que pode ajudar a suprir esta necessidade, é o aumento da eficiência do uso de energia elétrica, seja produzindo novos equipamentos mais eficientes ou pela melhora de sistemas elétricos. Desta forma pesquisas no campo de qualidade e eficiência energética são necessárias e o seu incentivo por parte de setor privado e público é fundamental.

A eficiência energética relaciona-se com a melhora do uso de fontes energéticas, conforme a Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE, (2010), eficiência energética é a relação entre a quantidade de energia utilizada e de um bem produzido ou serviço realizado. Aqui, a eficiência energética estudada foca nas boas práticas de utilização de energia elétrica. Já a qualidade de energia é uma medida qualitativa de um sistema elétrico, e engloba a análise de fatores, como, variação de frequência elétrica, fator de potência, distorções harmônicas, afundamentos de tensão, entre outros. Tais efeitos prejudicam o sistema elétrico e podem causar perdas significativas, sejam estas

econômicas ou energéticas. Deste modo, a análise de sistemas elétricos torna-se necessária para atender os padrões estabelecidos.

Os problemas da má qualidade e baixa eficiência energética são relativamente comuns em ambientes industriais e comerciais, e são alguns tipos de cargas, que devido ao seu princípio de funcionamento, podem causar anormalidades nos sistemas elétricos. Dentre os tipos de cargas que podem causar efeitos negativos estão: motores elétricos; máquinas de soldagem; computadores; reatores de iluminação; chaves eletrônicas de partida; *nobreaks*; entre outras.

A Agência Nacional de energia Elétrica – ANEEL é o órgão responsável por estabelecer padrões de qualidade e eficiência da energia elétrica, através do PRODIST – Procedimento de Distribuição e Energia Elétrica no Sistema Nacional. Este documento normatiza e padroniza as atividades relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia, entre elas, o estabelecimento do fator de potência mínimo de uma instalação elétrica, índices máximos e mínimos de frequência elétrica, limites de variação de tensão e de harmônicas de tensão. O desatendimento á esta regulamentação pode acarretar em eventuais penalizações financeiras por parte das concessionárias de energia aplicada aos consumidores.

Pesquisas realizadas neste seguimento demonstram que o emprego de medidas corretivas, como implementação de banco de capacitores, equilíbrio de cargas e aplicação de filtros ativos, em sistemas elétricos, reduzem as perdas de energia, melhoram o desempenho de máquinas e equipamentos e aumenta a confiabilidade de processos (FERNANDES, 2012). Além disso, trabalhos relacionados à qualidade de energia e eficiência energética foram desenvolvidos por Scheurich e Fiorin (2016), e comprovam em seus resultados a eficácia de algumas ações aplicadas no sistema elétrico do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna, e por isso são utilizados como referências para esta pesquisa.

No decorrer do texto são apresentadas análises realizadas nos estabelecimentos do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna e do Hospital São Roque. Serão destacados os problemas identificados, metodologia de análise utilizada, sugestões de melhorias e resultados alcançados.

2. METODOLOGIA

O PRODIST, em seu módulo 8, normatiza certos indicadores da qualidade de energia, tais como: fator de potência, distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão e frequência elétrica. A Tabela 1 resume os limites para tais índices, com referência a sistemas elétricos em tensão máxima de fornecimento de 1 kV, e que são adotados como valores de referência para análises desenvolvidas.

De forma geral, a análise qualitativa de sistemas elétricos deve ser realizada sobre dados coletados *in loco* utilizando equipamentos adequados. Como medida complementar, a análise pode ser feita sobre as faturas de energia elétrica, porém destaca-se que esta é menos precisa. Sobre os dados auferidos foram realizadas as análises e por fim o estado da instalação é indicado. Caso fossem necessárias, medidas corretivas foram indicadas e/ou aplicadas.

Tabela 1 – Valores de referência para os índices de qualidade de energia.

Índice	Mínimo	Máximo
Fator de Potência	0,92	1
Harmônicas tensão	-	10%
Desequilíbrio tensão	-	3%
Flutuação de tensão (Pst95%)	-	1 pu
Variação Frequência	59,9 Hz	60,1 Hz

Fonte: Adaptado do PRODIST – Módulo 8 (2011).

Para a análise dos dados, grandezas foram obtidas através de um analisador de energia com memória de massa (modelo ET-5060C-1102), e também de um multimedidor de grandezas elétricas (modelo PM5330) com comunicação em rede industrial via protocolo Modbus RTU, associado a 3 transformadores de corrente 300/5A 0,6C5. Com o auxílio de um sistema de supervisão e aquisição de dados, podem ser geradas planilhas e gráficos comparativos a fim de propor medidas corretivas. Outro método utilizado foi a análise das faturas de energia elétrica e dados de massa, sendo possível por meio destes estudar o perfil de consumo.

Os dados das grandezas elétricas obtidas com o analisador de energia portátil foram adquiridos por um tempo mínimo de 14 dias, em diferentes pontos das instalações elétricas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência, serão apresentadas as análises realizadas, bem como os resultados obtidos nos estabelecimentos do IFC – Luzerna e do hospital São Roque, explanando as técnicas de análise empregadas em cada estabelecimento bem como os resultados obtidos.

3.1. Instituto Federal Catarinense – *Campus Luzerna*

3.1.1. Instalações elétricas gerais

Um estudo de caso realizado por Scheurich e Fiorin (2016) com foco na análise no sistema elétrico do IFC – *Campus Luzerna*, apresentou em seus resultados a indicativa de problemas de desequilíbrio de cargas entre fases. Com o propósito de validar estes resultados, e intensificar as

análises, e ao fim propor uma solução, novas aquisições foram realizadas em quadros parciais de força das edificações do IFC, por meio do analisador de energia.

A análise inicial foi realizada com base nos dados coletados continuamente via supervisão, e uma amostragem de 10 dias é apresentada na Figura 1. Através do estudo dos dados coletados constatou-se grande desequilíbrio de cargas, como pode ser observado no Figura 1, onde o desequilíbrio de L1 em relação à L2 chegou a 80 % em 13% das amostras coletadas e 65% em 12% das amostras quando tratou-se de L1 em relação à L3.

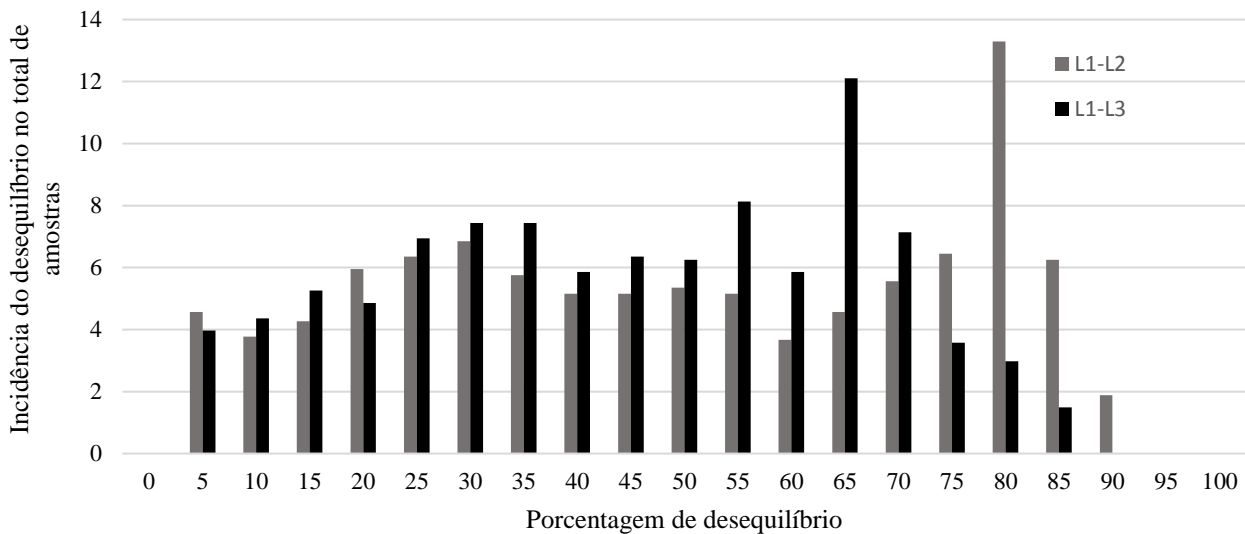


Figura 1 – Histograma de desequilíbrio de cargas entre as fases no Quadro Geral de Força.
Fonte: Próprios autores.

Em sequência investigou-se as possíveis cargas causadoras de tamanho desequilíbrio através da análise dos circuitos alimentadores, que são 4. O início deu-se pelo 3º pavimento do bloco B, onde um dos problemas identificados foi especificamente no Centro de Processamento de Dados - CPD, cuja carga monofásica estava concentrada em L1. Para a melhoria, as cargas do CPD ligadas na L1 foram transferidas para L2, uma vez que no estudo realizado mostrou-se a melhor das opções avaliadas.

Outro ambiente analisado neste pavimento foi a biblioteca. No dia 08 de Maio de 2017, em um dia típico de funcionamento da biblioteca, foram realizadas algumas medições para verificar a distribuição das cargas neste ambiente específico. As medições se deram em dois momentos, no primeiro com os climatizadores desligados, e no segundo com os aparelhos em funcionamento. Na Tabela 2 é possível verificar as correntes medidas durante o processo de aquisição de dados. Através da análise *in loco* identificou-se que a fase L1 alimenta um circuito misto de iluminação e tomadas,

condição esta inapropriada de acordo com a NBR5410. A fase L2 é exclusiva para atender a demanda de dois condicionadores de ar de 18000 BTU's, enquanto outros dois climatizadores de 30000 BTU's estão conectados em L3, e a fase L3 supre apenas o circuito de iluminação.

Tabela 2 - Correntes do circuito alimentador da biblioteca.

	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)
Sem ar-condicionado	6,1	0,3	7
Com ar-condicionado	6,1	14	7

Fonte: Próprio autor.

Com a análise é identificado um equilíbrio de carga entre as fases quando a maioria dos equipamentos em funcionamento, como esse comportamento tende a ocorrer na maior parte do tempo, nenhuma ação corretiva no ambiente foi necessária.

No segundo pavimento do bloco B, possuímos a informação de que a fase L2 apresentava pouca concentração de cargas, Scheurich e Fiorin (2016). Por averiguação do quadro de disjuntores, L2 alimenta duas salas deste andar e as cargas trifásicas, esporadicamente utilizadas em aulas práticas no laboratório de máquinas elétricas e acionamentos.

A Figura 2 apresenta o consumo do circuito alimentador do 2º pavimento do bloco B, em um dia típico de aulas.

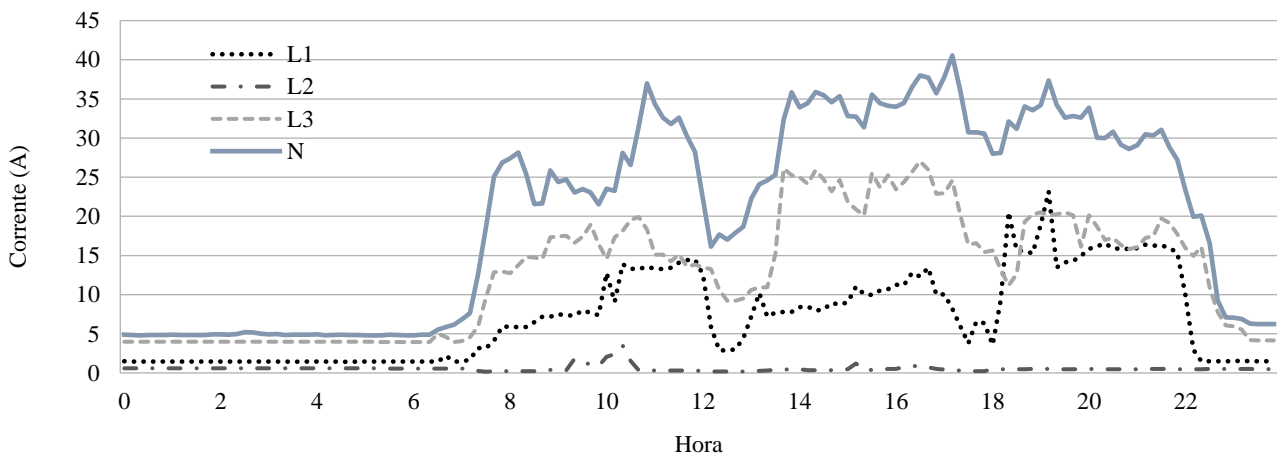


Figura 2 – Consumo típico bloco B.
Fonte: Adaptado de Scheurich e Fiorin (2016).

Em busca de equilibrar as cargas, foi proposto ao setor de infraestrutura a readequação do quadro de modo a redistribuir os circuitos. Para tanto foi realizada a troca do circuito de iluminação dos corredores e acessos (≈ 6 A) que estava em L3, para L2. Com as medições realizadas após esta modificação, verificou-se o melhor equilíbrio de cargas entre L1 e L3, entretanto L2 continuou sendo

a fase com menor carga, aproximadamente 15% em relação a L1. Como atividades futuras, será feita a redistribuição dos circuitos alimentadores das salas de aula deste pavimento para melhor igualdade entre as fases.

Para o primeiro piso do bloco B, uma análise da distribuição de cargas permitiu concluir que há o predomínio de cargas trifásicas, como tornos mecânicos, entre outras cargas. Ainda, de acordo com Scheurich e Fiorin (2016), tem-se que o circuito de iluminação do corredor esteja concentrado em L1, com uma corrente em torno de 6 A. Entretanto, o desequilíbrio de cargas é presente, verificado através de medições das grandezas do circuito alimentador.

As medições mostram que a fase L1 é a mais carregada, com corrente máxima de 22 A. Já a fase L2 é a menos carregada com aproximadamente 45% da carga de L1, enquanto L3 de maneira geral, tem carga próxima de L1 na maioria dos períodos. Na análise também verificou-se momentos de acionamento de cargas trifásicas, onde as distorções harmônicas são de menor valor, 20%, enquanto em outros momentos atinge até 60%, ultrapassando o limite regulamentado pelo PRODIST.

Como algumas salas deste pavimento foram remanejadas no último ano, foi realizada uma nova medição, entre 01 de Junho de 2017 e 08 de Junho de 2017. Obteve-se L2 como a fase menos carregada, enquanto L1 e L3 não possuem acentuada diferença. Ajustes não foram propostos pois a investigação do quadro de distribuição ainda não foi realizada.

3.1.2. Painel de correção do fator de potência

Medidas realizadas e analisadas por Scheurich (2016), descrevem que o painel de correção do fator de potência, que possui 11 módulos capacitivos trifásicos de 2,5 kvar e um controlador automático, deveria ser analisado com mais detalhes devido a ocorrência de multas por baixo fator de potência. O estudo do projeto e instalação do referido painel indicou que o fator de potência não estava sendo controlado de maneira adequada, por ineficiência do sistema projetado. Diante disso, procedeu-se uma nova aquisição de dados utilizando o analisador de energia, durante um período de 29 dias, com o objetivo de verificar a quantidade de energia reativa necessária para a correção do fator de potência.

A análise dos dados coletados evidenciou a existência de problemas no funcionamento do painel de correção de fator de potência. A 3.1.2Figura 3, apresenta a corrente das 3 fases do circuito de alimentação do banco de capacitores no período das 18:15 h do dia 18/03/2017 até as 09:15 h do dia 19/03/2017. Verificou-se que as correntes das fases apresentam magnitudes diferentes, porém, deveriam ter o mesmo comportamento. Percebe-se, por exemplo, que quando os módulos capacitivos

são acionados pelo controlador às 19:15 h, apenas as fases L2 e L3 tiveram o aumento de corrente correspondente a dois módulos capacitivos e a fase L1 teve apenas o acréscimo de corrente referente a um módulo capacitivo. Às 05:45 h o controlador faz a retirada de um módulo capacitivo, visível nas fases L2 e L3 e não perceptível na fase L1. Uma nova operação ocorre às 07:15 h e a mesma problemática é identificada. Portanto, é perceptível que o painel de correção de fator de potência possui problemas.

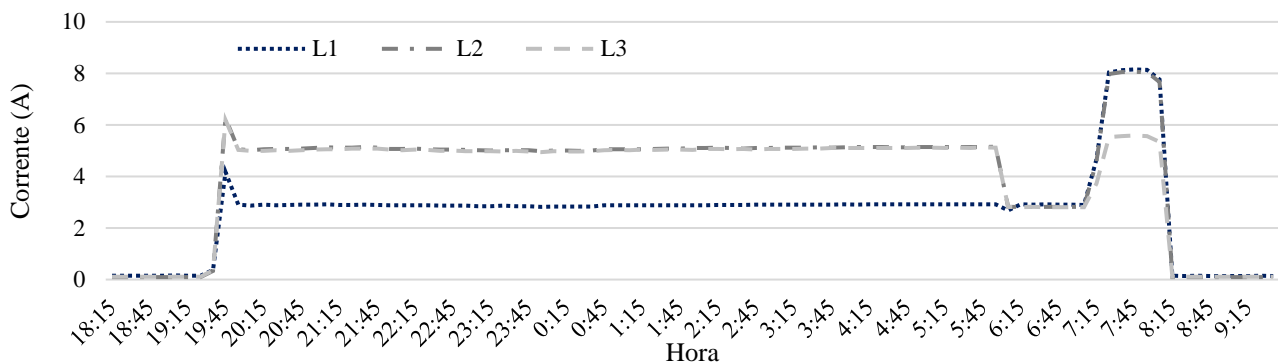


Figura 3 – Gráfico das correntes das fases do sistema de correção de fator de potência.
Fonte: Próprios autores.

A inspeção do painel revelou que dois módulos capacitivos possuíam fusíveis danificados. A adequação do painel foi providenciada de imediato, colocando 1 dos módulos danificados de volta em operação, e encaminhado as devidas informações para o departamento de infraestrutura do *campus*, para que providencie a compra dos fusíveis faltantes. Para validar as adequações, uma nova medida foi realizada no painel de correção de fator de potência no período de 09 de Junho de 2017 até 06 de Julho de 2017 e os dados demonstram que os problemas foram corrigidos.

Outra análise realizada com foco no fator de potência foi através dos dados de massa do medidor de energia elétrica, referente ao mês de Maio de 2017, obtidos através de uma requisição junto a concessionária de energia. A aquisição dos dados de massa permitiu analisar e comparar as medidas elétricas com base no período de integração de 15 min da concessionária e teve como objetivo verificar o comportamento do sistema elétrico da instalação através da identificação das variações de carga, picos de demanda de energia e os momentos em que ocorrem as leituras indicativas de baixo fator de potência visto pela concessionária.

Na análise observou-se longos intervalos de tempo com baixo fator de potência, e nesses intervalos pequenas variações de carga são perceptíveis, o que permite afirmar que a correção do fator de potência não estava sendo realizada adequadamente. Diante deste fato, realizou-se a revisão do

projeto do painel de correção do fator de potência. Estudos de caso permitiram calcular a potência reativa que o painel de correção de fator de potência deveria fornecer para manter o fator de potência no valor desejado de 0,98 durante os instantes problemáticos verificados nos dados obtidos da concessionária. Verificou-se que para um melhor controle do fator de potência, um baixo valor de potência reativa deveria estar disponível no banco capacitivo, assim uma readequação do painel torna-se necessária. A opção de readequação sugerida e que se mostrou ser a mais viável é a substituição de dois módulos capacitivos de 2,5 kvar cada, por 1 kvar cada. Para compensar a diminuição da potência reativa total do banco capacitivo, considerou-se ainda a substituição de um módulo capacitivo de 2,5 kvar por um de 5 kvar. Outra atividade que pode contribuir positivamente é a implementação de uma inspeção trimestral no painel de correção de fator de potência, com o objetivo de verificar a integridade dos componentes.

3.2. Hospital São Roque Luzerna

A problemática deste consumidor relaciona-se com a ultrapassagem da demanda de energia, cujo valor contratado é de 40 kW. Este consumidor pertence ao enquadramento tarifário sub-grupo A4, e de acordo com o manual de tarifação de energia elétrica da PROCEL o valor de tolerância de ultrapassagem da demanda para este enquadramento é de 10% sobre o valor contratado.

Para quantizar o problema desta instalação, teve-se acesso às tarifas de energia elétrica referentes aos anos de 2014, 2015 e 2016. A Figura 4 apresenta o consumo energético dos últimos três anos.

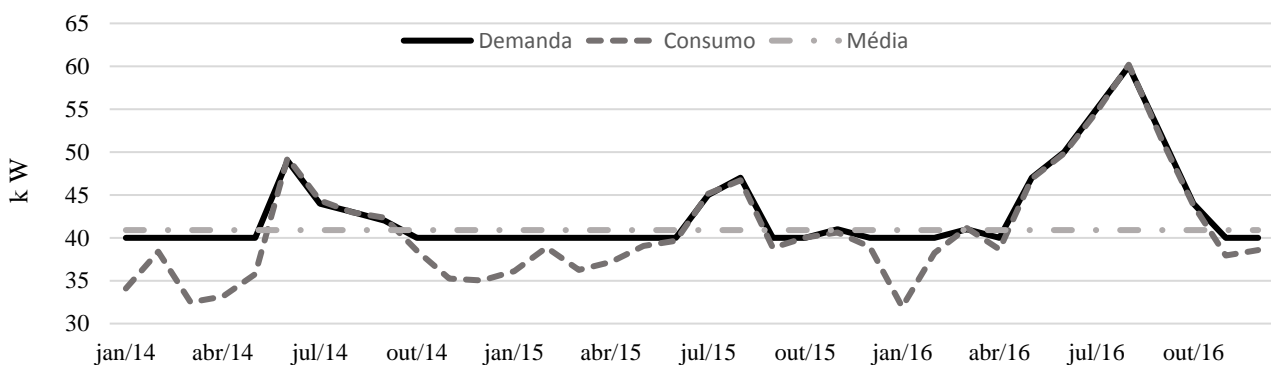


Figura 4 – Gráfico faturas de energia elétrica.
Fonte: Próprio autor.

As análises sobre as tarifas de energia evidenciam que o consumo médio deste consumidor é de 40,9 kW, tendo ocorrido uma demanda máxima de 60 kW no mês de agosto de 2016. É verificado

que existem ocorrências de ultrapassagens de demanda contratada em 9 meses de um total de 36, com tendência de ocorrer entre os meses de maio e setembro, os meses mais frios do ano. O somatório de multas por ultrapassagem de demanda contratada dos anos analisados resultou em um acréscimo total de R\$ 5.113,94 na conta de energia, representando 9% do valor total pago neste período.

Para viabilizar uma readequação da tarifa de energia foram ponderados valores na tentativa de encontrar um ponto ótimo para o contrato de demanda, e os valores escolhidos para a nova demanda foram 45 e 50 kW. A Tabela 3 apresenta uma comparação entre o montante a ser pago com faturas de energia nos anos analisados para cada valor de demanda ponderada.

Tabela 3 – Montante anual demanda atual e demandas ponderadas.

Demanda	2014 (R\$)	2015 (R\$)	2016 (R\$)
40 kW	18.745,08	19.311,62	18.674,40
45 kW	19.319,14	20.408,67	18.010,90
50 kW	20.973,24	22.470,53	18.045,50

Fonte: Próprio autor.

Para uma possível demanda de 45 kW, a readequação retorna melhores resultados entre as novas demandas analisadas, entretanto houve decréscimo do valor a ser pago somente no montante de 2016, um valor aproximado de 3,55% de economia. Já para os anos de 2015 e 2014 o cálculo retorna um aumento de gasto de 5,68 e 3% respectivamente.

Já para uma possível demanda contratada de 50 kW, a readequação não mostra-se vantajosa, uma vez que as simulações apresentam um custo financeiro final inferior de 3,37% ao atual para o ano de 2016 e aumento de custo de 16,36% em relação ao atual para 2015 e 11,89% para 2014.

Consequentemente a hipótese da alteração no contrato da demanda foi descartada por ser comprovada como inviável. Como proposta alternativa a alteração do contrato de energia, uma vez que a sua modificação não impactaria em resultados significativos, foi orientado a este consumidor a análise da viabilidade de reorganização de suas atividades, para evitar o consumo excessivo de energia durante o horário de ponta, compreendido entre as 18:30 e 21:30 horas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a execução do projeto muitos problemas relatados anteriormente foram confirmados e com novas medições outros problemas foram localizados. As análises empregadas utilizando equipamentos de medição foram fundamentais para identificar os problemas e propor soluções viáveis. Algumas propostas foram sugeridas, mas ainda não foram implementadas, impossibilitando

a análise comparativa. Outras propostas foram implementadas, e estas mostraram-se eficazes, melhorando a qualidade de energia.

Referente as instalações do IFC *Campus* Luzerna, até o final do projeto será realizado um levantamento para identificar a eficiência energética dos equipamentos que mais predominam na instalação, como climatizadores, reatores de iluminação e outras cargas. Pretende-se também, analisar o circuito geral do Bloco administrativo e o Bloco A, bem como efetuar as mudanças necessárias.

Como próximo projeto para melhorar a qualidade e a eficiência energética do sistema elétrico do *campus*, pode ser o estudo para a implementação de um filtro para a correção de distorções harmônicas de corrente, cujos valores obtidos com análises mostram-se acima do sugerido por norma e não podem ser corrigidos facilmente.

AGRADECIMENTOS

Fonte de Financiamento: Edital 162/2016 - Apoio a Projetos de Pesquisa e Extensão Aplicados aos Arranjos Produtivos Locais nos *Campi* do IFC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, **Manual de Tarifação de Energia Elétrica, PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**, Segunda Edição, Agosto, 2011.

SCHEURICH, J. P.; FIORIN, Marcos. **Análise da eficiência e qualidade energética das instalações elétricas do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna**. INDUSCON, Curitiba, v.1, n.1, p. 1-7, nov. 2016.

FERNANDES, T. D. M. **Análise da qualidade de energia eléctrica em instalações de grande complexidade**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Mestrado integrado em engenharia eletrotécnica e de computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. 4. ed. Brasília: ANEEL, 2011.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS. **Análise da eficiência energética na indústria e nas residências no horizonte decenal (2010-2019)**. Rio de Janeiro, BR: EPE, 2010.