

Estudo e análise de adequação para edificação eficiente na UFERSA

José Klauber Gurgel Nobrega de Queiroz
Engenharia Elétrica - Centro de Engenharias
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
Mossoró, Brasil
klauber.jk@gmail.com

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA)
Mossoró, Brasil
fkv@ufersa.edu.br

Resumo - O Procel Edifica indica pontos para a avaliação dos edifícios sob o ponto de vista de sua eficiência energética. Este, juntamente com as normas NBR 8995-1:2013 e NBR 16401:2008, estabelecem condições de segurança, conforto e uso para um determinado ambiente. O presente trabalho tem como objetivo identificar, analisar e propor adequações simplificadas na estrutura física e organizacional de uma edificação do poder público, visando a promoção de beneficiamento a toda a instalação em termos de gestão energética, reduzindo os níveis de consumo e consequentemente valor a ser pago por este. Foram realizadas vistorias e medições de modo a promover a coleta de dados referentes a itens exigidos pelas normas e programas em que se baseia este trabalho, de forma a auxiliar e direcionar a uma conclusão. As medições de tensão, distorção harmônica total de tensão, temperatura interna dos componentes do quadro geral e de distribuição, e fator de potência do prédio se apresentaram adequadas e não comprometem a instalação. Verificou-se, entretanto, que o prédio não está totalmente em conformidade com as diretrizes indicadas pelos programas e normas por este trabalho utilizadas.

Palavras-chave - PROCEL Edifica, Qualidade de Energia, Eficiência Energética.

I. INTRODUÇÃO

A eficiência energética se refere ao menor consumo energético possível na realização de uma mesma tarefa. Entretanto, a eficiência energética não está somente vinculada a um menor consumo de energia, seu conceito também abrange a minimização de perdas úteis, de danos e falhas em uma instalação elétrica, que estão associados a má qualidade de energia [1]. Ressalta-se, contudo, que a redução do consumo de energia não deve acarretar desconforto, nem comprometer a segurança dos indivíduos na execução de um determinado serviço. Diante disso, tem-se demonstrado uma maior preocupação da população e órgãos públicos e privados com o uso racional da energia elétrica. Essa preocupação vem sendo demonstrada por meio de uma conscientização acerca da melhor forma de utilização dos recursos naturais, muito disso devido ao peso econômico cada vez maior das faturas de energia.

O consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, comerciais e de serviços públicos, de acordo com [2], representa cerca de 50% do total de eletricidade do país. O crescimento populacional é outro fator que atenta a necessidade da eficiência energética, pois tal crescimento interfere diretamente no crescimento urbano, que

consequentemente demanda em mais consumo energético. Segundo [3] o relatório da *World Urbanization Prospects*, estima-se que haverá um crescimento de 13% da urbanização mundial até 2050.

Além do crescimento urbano, o desperdício de energia é outro preceito preocupante, e de acordo com [4], entre os anos de 2015 e 2017, o Brasil atingiu um desperdício de energia que se aproxima de R\$ 61,7bi. Diante disso, medidas governamentais brasileiras, têm como meta reduzir 10% das perdas de energia elétrica até 2030 [5]. Sendo assim, vê-se a urgente necessidade de profissionais especializados e do apoio governamental para a aplicação de medidas que possibilitem a redução deste desperdício.

O peso econômico, diante das recentes e históricas crises hídricas, causa o aumento gradativo e generalizado das bandeiras tarifárias, na fatura de energia elétrica, acarretado devido ao maior uso das usinas termelétricas. Nessa situação, se torna cada vez mais presente na sociedade a preocupação em manter em uma residência, indústria, ou qualquer edificação, um gerenciamento que venha a possibilitar em um menor consumo de energia.

Diante do contexto apresentado, o presente trabalho tem como objetivo identificar, analisar e propor adequações simplificadas na estrutura física e organizacional de uma edificação do poder público, aqui definido como o prédio Central de Engenharias (CE), localizado no Campus Central da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, lado leste, visando o beneficiamento de toda a instalação em termos de gestão energética, reduzindo os níveis de consumo e consequentemente o valor a ser pago por este. As adequações serão feitas através da metodologia presente na literatura de referência do tema, sendo estas: o programa de etiquetagem PROCEL edificações; o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem); a NBR ISO 8995:2013; a NBR 16401:2008; e os parâmetros de qualidade de energia apresentados pela ANEEL.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

No Brasil, diversas iniciativas sistematizadas vêm sendo empreendidas há mais de 20 anos, com o objetivo de disseminar e desenvolver métodos e conceitos que auxiliem na gestão e eficiência energética. Dentre elas destacam-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO); o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), cuja

coordenação executiva está a cargo da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS); e o Programa de apoio a Projetos de Eficiência Energética (PROESCO), cuja coordenação executiva pertence ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) [6].

Durante o processo de elaboração do trabalho, serão utilizadas referências e indicações advindas dos programas e instituições acima apresentados, mais especificamente o PROCEL Edificações, além de normas que remetem a eficiência energética e/ou ao conforto térmico e visual proporcionado pelo ambiente, como a NBR ISO 16401:2008 e a NBR ISO/CIE 8995:2013.

Técnicas e meios de análise, mesmo que não abordados nas normas ou programas já citados, também serão utilizados para a avaliação geral da edificação. Estas tomarão como base os parâmetros de fator de potência, distorções harmônicas de tensão e estabilidade de tensão, indicados pela ANEEL através do PRODIST (Procedimentos de Distribuição) ou determinados através de decretos, visando índices satisfatórios na qualidade de energia.

A. PROCEL Edifica

A regulamentação para a etiquetagem de edifícios se deu junto ao PROCEL, programa que é vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME), e tem como intuito articular o setor elétrico e a sociedade, visando fomentar a eficiência energética e o uso racional da energia, em benefício da própria sociedade. Dentre os subprogramas do PROCEL é possível destacar o Procel Edifica, que tem como intuito avaliar a eficiência energética de edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas, no qual juntamente ao Inmetro, concede a Etiqueta PBE Edifica, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para as edificações. De acordo com [2], são mais de 2.100 etiquetas PBE Edifica concedidas de 2009 (ano de criação do programa) até a atualidade.

Além da etiqueta supracitada, o programa confere o Selo Procel Edificações, estabelecido em novembro de 2014, tendo por objetivo principal identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética em uma dada categoria, motivando o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes [2].

Vale ressaltar que a etiquetagem de edifícios ainda possui caráter voluntário, mas mesmo assim representa um fator de qualificação em termos energéticos.

A metodologia de avaliação para a concessão do Selo Procel Edifica, está descrita no Regulamento para Concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, bem como nos Critérios Técnicos específicos que baseiam-se no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) do Programa Brasileiro de Edificações – PBE Edifica [2].

A avaliação é feita individualmente considerando três aspectos que envolvem a edificação: a envoltória, com peso no valor de 30%; o sistema de iluminação, com peso de 30%; e sistema de ar condicionado, considerando peso de 40%. Cada um desses sistemas recebe um equivalente numérico que

representa o nível de eficiência energética individual, cuja combinação confere ao edifício uma classificação geral.

Esse equivalente numérico está diretamente relacionado com o nível de eficiência, no qual a classificação A, é a mais eficiente, e a classificação E, a menos eficiente. A Tabela 1 mostra o equivalente numérico para cada nível de eficiência e a classificação que é obtida mediante a obtenção dos valores finais, provenientes da análise do sistema, seja ele geral ou parcial.

Tabela 1 – Níveis para classificação

Nível de Eficiência	Equivalente Numérico	Pontuação Final
A	5	≥4,5 a 5
B	4	≥3,5 a <4,5
C	3	≥2,5 a <3,5
D	2	≥1,5 a <2,5
E	1	<1,5

Fonte: Adaptado de [2].

As edificações que forem classificadas com A nos três conceitos previstos, recebem o Selo Procel Edifica. Além disso, independente da classificação estabelecida, todas as construções avaliadas recebem a Etiqueta de Eficiência Energética com as informações de acordo com sua classificação.

A Figura 1 ilustra a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações, incluindo todos os sistemas possíveis de avaliação (envoltória, iluminação e condicionamento de ar). Vale ressaltar que a ENCE poderá ser concedida para a edificação completa, para blocos de edifícios, para pavimentos ou conjuntos de salas.

Figura 1. Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para edificações



Fonte: [2].

Neste trabalho serão consideradas todas as partes do processo, menos o que se refere a parte de envoltória, e terá seu foco maior no Manual de Aplicação do RTQ-C, visto que

a unidade em análise irá se tratar de um prédio do poder público.

1) Sistema de iluminação

De acordo com a metodologia do PROCEL Edifica, os sistemas de iluminação eficientes são definidos mediante a observação da Densidade de Potência Instalada (DPI) do sistema. Há, porém, outros métodos a serem utilizados de forma suplementar, como pré-requisitos específicos para os sistemas de iluminação, a fim de garantir que o sistema só tenha seu funcionamento dado quando é efetivamente necessário [7].

Os pré-requisitos específicos são estabelecidos de acordo com o nível de eficiência pretendido, onde estes devem ser respeitados. Para a obtenção do nível A o controle do sistema de iluminação deve atender as características estabelecidas nos itens a, b e c, que serão descritos mais adiante; já o nível B deve atender ao que é estabelecido através dos itens a e b; e o nível C deverá atender a pelo menos o pré-requisito do item a.

Os pré-requisitos específicos são, a saber:

a) Divisão dos circuitos de iluminação

Define que deve haver a existência de no mínimo um dispositivo de controle manual, de modo a permitir o acionamento independente da iluminação, tendo visualização e localização fácil.

b) Contribuição da luz natural

Define que ambientes com abertura(s) voltada(s) para o ambiente externo e que contenham mais de uma fileira de luminárias paralelas à(s) abertura(s) devem possuir um dispositivo de desligamento independentemente do restante do sistema, com o intuito de obter o maior aproveitamento da luz natural, sem o gasto desnecessário do sistema artificial de iluminação.

c) Desligamento automático do sistema de iluminação

Define que para evitar ambientes desocupados com iluminação artificial ativada, um dispositivo de controle automático para desligamento da iluminação deve ser instalado. Tal pré-requisito se aplica de forma obrigatória somente para ambientes com área superior a 250m².

1.1) Determinação da eficiência do sistema de iluminação

O PROCEL estabelece os limites de densidade de potência para a área interna do edifício com relação ao sistema de iluminação.

Cada limite determina o nível de eficiência que a edificação apresenta para a iluminação, variando de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A avaliação da Densidade de Potência Instalada (DPI) é determinada mediante uso de um dos dois métodos: método da área do edifício ou método das atividades do edifício.

O Método da Área do Edifício, precisa que, uma edificação possuindo no máximo três atividades principais, ou quando estas ocupam mais de 30% da área total do

edifício, tenha a avaliação do seu sistema de iluminação feita de forma geral, ou seja, considerando as atividades do prédio como sendo somente composto pela atividade principal. Neste caso, deve-se identificar a atividade principal do edifício e a Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPIL – W/m²), que é dada mediante a somatória da potência total do sistema de iluminação dividido pela área do edifício. Para cada nível de eficiência é determinada uma potência limite, a qual esta é comparada com a potência total da edificação, resultando no nível de eficiência do sistema.

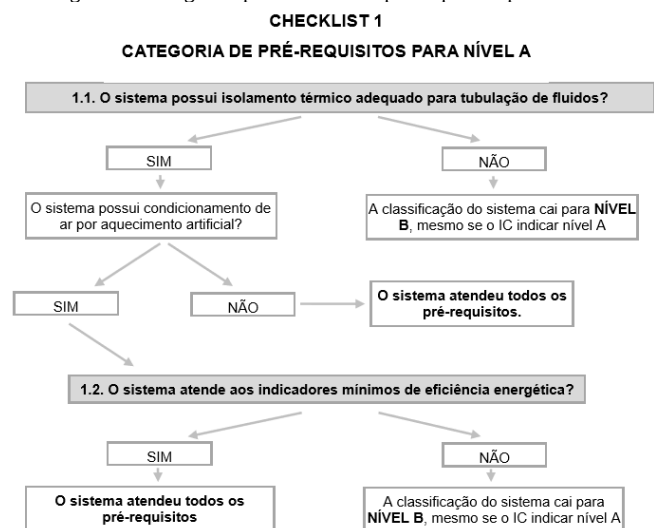
Já o Método das Atividades do Edifício é semelhante ao anterior, difere-se apenas que neste é feita a avaliação individual de cada ambiente e das atividades desempenhadas nestes, classificando cada ambiente com relação a sua Densidade de Potência de Iluminação Limite. Vale informar que poderá haver um aumento da densidade de potência limite em função do espaço interno dos ambientes, quando estes apresentarem dimensão máxima de 2,4m, de largura ou comprimento.

2) Sistema de condicionamento de ar

O PROCEL Edifica trata os sistemas de condicionamento de ar de duas formas distintas, de modo que estes podem ter sua eficiência avaliada mediante observação da etiqueta PBE/INMETRO, ou para aqueles equipamentos que não possuem tal etiqueta, a sua avaliação parte da relação de desempenho que o mesmo apresenta com relação aos diversos requisitos que estão dispostos no tópico 5.4 do Manual do RTQ-C [7].

O programa em questão afirma que o nível de eficiência de um sistema de climatização artificial é determinado não somente através do nível de eficiência do equipamento em si, mas também do cumprimento dos pré-requisitos. Logo, estes devem ser avaliados separadamente para cada ambiente, e diferentemente do sistema de iluminação, possui pré-requisito apenas para nível de eficiência A. Uma vez que este não seja atendido, o nível de eficiência reduzirá para B, mesmo que apresentando ENCE A do INMETRO. A Figura 2, apresenta o fluxograma no qual consta a sequência dos procedimentos que devem ser seguidos para constatar se o sistema atende aos pré-requisitos.

Figura 2. Fluxograma para análise dos pré-requisitos para nível A



Fonte: [7].

Estes pré-requisitos são:

a) Isolamento térmico para tubulações

Estabelece espessuras mínimas para o isolamento das tubulações dos sistemas de climatização, sejam eles para aquecimento ou refrigeração, além da condutividade térmica média que o material isolante deve apresentar.

Os dados referentes a isolamento para sistemas de refrigeração encontram-se apresentados na Tabela 5.2 do Manual para aplicação do RTQ-C [7], onde estes estão aqui descritos através da Tabela 2.

Tabela 2 – Espessura mínima do isolamento da tubulação

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura do ensaio (°C)	<25	25 a <40	40 a <100	100 a <200	>200
4<T<16	0,032 a 0,040	24	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
T<4	0,032 a 0,040	10	1,5	2,5	2,5	2,5	4

Fonte: Adaptado de [7].

b) Condicionamento de ar por aquecimento artificial

Quando o sistema é voltado para o aquecimento do ambiente, o mesmo deve apresentar indicadores mínimos de eficiência energética:

- Coeficiente de Performance (COP) ¹ para aquecimento maior ou igual a 3,0 W/W;
- Quando estes forem de acumulação a gás devem atender aos requisitos apresentados na Tabela 5.3 do mesmo Manual.

2.1) Determinação da eficiência do sistema de condicionamento de ar

A determinação da eficiência do sistema de climatização composto por condicionadores de ar do tipo janela e condicionadores de ar tipo *split* com eficiência avaliada pelo PBE/INMETRO é realizada de forma simples. Para esta é adotada a classificação da ENCE² que estão adesivadas nos aparelhos de climatização, e identificado o equivalente numérico (vide Tabela 1).

Os valores de consumo presentes na ENCE afixada nos aparelhos, devem ser comparados com os valores de consumo nas tabelas do PBE/INMETRO mais atuais. No caso de haver mais de um sistema independente de condicionamento de ar no edifício, a determinação ocorrerá de maneira similar à forma de avaliação de eficiência do sistema de iluminação, onde os níveis de eficiência de cada sistema independente devem ser identificados na ENCE e seus equivalentes numéricos obtidos (vide Tabela 1). Após a obtenção destes, é feita a ponderação pela capacidade dos seus respectivos sistemas, a fim de estimar o equivalente numérico final

envolvendo todos os sistemas de condicionamento de ar e, portanto, o nível de eficiência do sistema de condicionamento de ar do edifício.

A Equação 1 sintetiza as operações anteriormente descritas e resulta na obtenção do Equivalente Numérico Final do Sistema de Condicionamento de Ar (*EqNumCA*).

$$EqNumCA = \sum_{n=1}^x \left(EqNumCA_n \frac{Cap_n}{Cap_t} \right) \quad (1)$$

onde:

-*EqNumCA_n*: é o equivalente numérico individual de cada aparelho;

-*Cap_n*: é a capacidade de cada sistema individual;

-*Cap_t*: é a capacidade total de instalada em condicionamento de ar.

O nível de eficiência para o sistema de climatização é obtido na Tabela 1, mediante entrada do valor final da análise, que é dado através da Equação 1.

B. NBR ISO/CIE 8995:2013

O sistema de iluminação artificial é um dos três pontos foco do estudo promovido pelo Procel Edifica, no qual este, como já foi apresentado, representa 30% dos pesos que compõem o estudo para que seja feita sua classificação.

Um sistema eficiente de iluminação não é somente aquele que apresenta baixo consumo ou divisão apropriada de seu sistema físico, mas sim aquele que além de apresentar tudo isso, também oferece um nível satisfatório de luminosidade.

A NBR ISO/CIE 8995:2013 especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas de maneira eficiente, com segurança e conforto visual durante todo o período de trabalho [8]. Entretanto a mesma não define a forma que deve ser dada a construção do projeto ou as técnicas de iluminação que devem ser seguidas.

Com a finalidade de satisfazer os requisitos específicos da norma, devem ser analisados os principais parâmetros que contribuem para a luminosidade do ambiente, que são, a saber: distribuição da luminância, iluminância, ofuscamento, direcionalidade da luz, aspectos da cor da luz e superfícies, cintilação e luz natural.

Diante do exposto, através da referida norma, é visto que um ambiente de trabalho que possui um nível de iluminação adequado para a atividade que está sendo exercida, sempre proporcionará ao trabalhador uma atividade segura e saudável, melhorando sua eficiência e produtividade.

C. NBR 16401:2008

De maneira geral, os sistemas de climatização artificial apresentam grande desperdício de energia elétrica nas

¹ Razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida, para um sistema completo de aquecimento por bomba de calor, incluindo o compressor e sistema auxiliar de aquecimento.

² Os valores de consumo presentes na ENCE afixada nos aparelhos, devem ser comparados com os valores de consumo nas tabelas do PBE/INMETRO

mais atuais, de maneira a garantir que os dados estão atualizados e em conformidade com os níveis de eficiência dos aparelhos atualmente no mercado.

instalações industriais e comerciais, independente da classificação dos aparelhos que vem a compor o sistema.

Para se obter resultados satisfatórios em um projeto de climatização artificial, é preciso observar alguns aspectos, onde estes estão dispostos na NBR 16401:2008. Tal norma é importante não só no aspecto de tornar o ambiente mais agradável, mas também de influenciar na qualidade do ar, garantido a saúde do indivíduo que está exposto a ele, mantendo o controle da temperatura, umidade, filtragem, difusão e renovação do ar, com isso garantindo maior desempenho do sistema.

Dentre os fatores citados na norma, um dos principais diz respeito a análise da carga térmica, principalmente quando se deseja observar o conforto que o sistema de climatização consegue proporcionar ao usuário, além de evitar super ou subdimensionamento do sistema, acarretando em dispêndio de energia ou elevação do custo de aquisição das unidades de condicionamento de ar.

No cálculo da carga térmica devem ser consideradas as influências da troca de calor resultante da diferença de temperatura interna e externa, de modo que a envoltória do prédio e a localização deste vai exercer grande influência, além das fontes internas de calor e umidade, que são pessoas e equipamentos eletrônicos.

De acordo com [9], o cálculo da carga térmica, a não ser para sistemas de maior simplicidade, é inviável sem o auxílio de programas computacionais. Um dos sistemas indicados pela própria norma são os simuladores desenvolvidos e registrados pelos fabricantes dos equipamentos de climatização.

D. Qualidade de Energia

A qualidade da energia elétrica emergiu como uma área importante da engenharia. A razão predominante para esse surgimento é o aumento da sensibilidade do equipamento de uso final [10].

De acordo com [1], uma má qualidade de energia está relacionada as perdas de produção e tempos de parada, desperdício de materiais, danos e falhas de equipamentos, manutenção de equipamento e perdas de trabalho. Tendo em vista que uma instalação necessita operar de forma eficiente, minimizando as perdas e os problemas, é necessário incorporar métodos que propiciem uma boa qualidade de energia.

A ANEEL por meio do PRODIST³, estabelece limites necessários dos parâmetros, presentes em uma instalação, para se avaliar a qualidade de energia. Os parâmetros principais mais observados para se aferir uma boa qualidade de energia, podem ser citados como sendo: o fator de potência; as amplitudes harmônicas; e observação de estabilidade de tensão.

1) Fator de Potência (FP)

Determinados equipamentos necessitam durante seu funcionamento de uma certa quantidade de energia reativa,

podendo estes causar prejuízos ao que se diz respeito a qualidade e eficiência energética da unidade a ser analisada.

O Fator de Potência (FP) de uma instalação elétrica, como mostra a Equação 2, pode ser determinado como sendo a relação entre o componente ativo da potência e o valor total desta mesma potência, ou seja:

$$FP = \frac{P_{at}}{P_{ap}} \quad (2)$$

Onde:

- P_{at} : Potência Ativa (W);

- P_{ap} : Potência Aparente (VA).

Os valores do FP podem variar de zero a um, de modo que este pode ser interpretado como um índice de eficiência, uma vez que advém de uma relação direta entre a potência efetivamente consumida (P_{at}), com a potência total exigida pelo equipamento à instalação (P_{ap}), que se refere aos componentes reais e imaginários. Dessa maneira se percebe que para o valor do fator de potência igual a 1, toda a potência aparente absorvida pela unidade é puramente potência ativa.

A Portaria DNAEE nº. 613, de 09 junho de 1993, definiu que o fator de potência pode ser calculado, dentro do período de faturamento, como sendo o cosseno do arco tangente do quociente da energia reativa pela energia ativa (Equação 3).

$$FP = \cos(\varphi) \quad (3)$$

Onde:

- φ : é o arco tangente da relação entre a potência ativa e a potência reativa.

A Portaria DNAEE nº. 085 foi publicada em 25 de março de 1992, e estabelece dentre diversas mudanças na forma de controle da energia reativa, que o limite mínimo do fator de potência deve ser 0,92 e adicionando a possibilidade de taxaço sobre excedente de energia reativa durante o período noturno. Se o fator de potência estiver abaixo do mínimo estabelecido pela Portaria nº.085, a conta de energia elétrica sofrerá um ajuste em reais, de forma a elevar o valor final da mesma.

De acordo com [12], um baixo fator de potência indica que, além da energia está sendo mal aproveitada pela unidade consumidora, esta poderá vir a sofrer diversas faltas:

- Aumento das perdas elétricas internas da instalação;
- Queda de tensão na instalação;
- Redução do aproveitamento da capacidade dos transformadores;
- Aquecimento dos barramentos e condutores.

Logo, corrigir o FP é uma das soluções para se conseguir diminuir os riscos com acidentes elétricos por superaquecimento, visto que os condutores devido à alta temperatura podem vir a sofrer deformações e alteração em

³ Os Procedimentos de Distribuição - PRODIST são documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição

de energia elétrica. O mesmo possui abrangência a consumidores com instalações conectadas em qualquer classe de tensão de distribuição.

sua capacidade de condução, além de evitar acréscimo na fatura de energia [12].

2) Temperatura dos barramentos

A elevação da temperatura dos barramentos possui diversas fontes, além da já citada, baixo fator de potência, estas outras são, a saber: conexão mal executada ou sem auxílio de conectores entre o barramento e os condutores de chegada ou saída, ou sub dimensionamento do sistema, provocando sobrecarga do mesmo.

A energia de aquecimento proveniente da passagem de corrente pelo sistema, causa desgaste e redução da vida útil do mesmo.

Conforme [13] e [14], os elementos de um conjunto de manobras e quadro de comando de baixa tensão, devem ser capazes de conduzir suas correntes térmicas convencionais sem que as elevações de temperatura excedam determinados limites, considerando uma temperatura ambiente média de 35°C para a NBR IEC 61439-1, e temperatura ambiente máxima de 40°C para a NBR IEC 60947-2.

Para [13], os terminais para conexão externa e barramentos, podem atingir uma temperatura máxima de 70°C, enquanto para os condutores é permitido chegar até 105°C. Já [14] define a temperatura máxima dos terminais de conexão como sendo de 80°C.

3) Níveis Harmônicos

A distorção harmônica em uma rede se refere ao surgimento de correntes e tensões não-senoidais provocadas por cargas não lineares conectadas a rede [15].

De acordo com [15], os equipamentos eletrônicos em geral são o exemplo mais comum de carga não linear, onde ao mesmo tempo que eles aumentam as amplitudes harmônicas do sistema, eles são mais sensíveis a estes. Tais equipamentos não possuem capacidade de operar em faixas mais longas de distorção, uma vez que isso ocorra, implicará em redução significativa da vida útil do equipamento. A ANEEL por meio do PRODIST [16], estabelece os limites das Distorções Harmônicas Totais de Tensão (DTT), onde estas são dadas por eles em % da tensão fundamental. A classificação das faixas é indicada pelo nível da tensão de fornecimento que chega a unidade consumidora. Esses limites estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites das distorções harmônicas totais		
Indicador	Tensão nominal	
	$V_n \leq 1,0kV$	$1,0kV < V_n < 69kV$
DTT95% ⁴	10,00%	8,00%
DTTp95%	2,50%	2,00%
DTTi95%	7,50%	6,00%

Fonte: [12].

Para sistemas trifásicos equilibrados, a distorção harmônica apresentada em uma fase deve ser idêntica para as outras duas, com a defasagem adicional de um dividido por três vezes a frequência fundamental (1/3f) [15].

4) Estabilidade de Tensão

A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz ou de pico da tensão instantânea. Flickers de energia impactam diretamente na determinação da qualidade da tensão do sistema, de modo que a flutuação de tensão provoca incômodo e redução da vida útil dos aparelhos. Como por exemplo, o efeito da cintilação luminosa no sistema de iluminação ou redução do torque no caso dos motores [16].

A ANEEL estabelece faixas de classificação de tensões de regime permanente para os diversos níveis de tensão entregue aos usuários. Essas servem como limitadores para potenciais impactos da conexão e operação do usuário, evitando danos que possam vir a ocorrer na instalação elétrica como um todo.

A Tabela 4 apresenta as faixas de variação aceitável, discriminando a variação em adequada, precária e crítica, considerando pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220).

Tabela 4 – Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220)	
Tensão de Atendimento	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 < TL < 399) / (202 < TL < 231)$
Precária	$(331 < TL < 350 \text{ ou } 399 < TL < 403) / (191 < TL < 202 \text{ ou } 231 < TL < 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403) / (TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Fonte: [16].

III. METODOLOGIA DA PESQUISA

A. Descrição do edifício em estudo

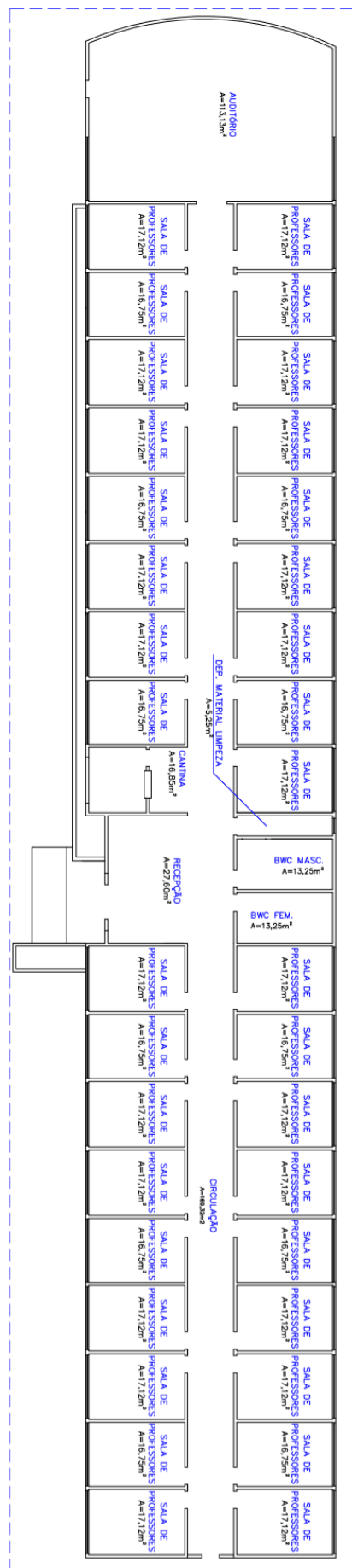
O presente trabalho trata-se de um estudo de caso realizado no edifício corresponde ao Prédio do Centro de Engenharias (CE), localizado no Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, e aqui ilustrado através da Figura 3. A unidade é um edifício de médio porte, contendo apenas cargas leves, uma vez que sua ocupação se dá de forma majoritária por salas de professores responsáveis pela graduação e mestrado na Universidade.

O edifício foi concluído em 2010 e não sofreu nenhuma intervenção posterior, com exceção da unificação de duas salas de professores (foi apenas inserida uma porta padrão entre os ambientes) com o objetivo de tornar esse espaço o ambiente para a secretaria⁵ do bloco. A entrada principal do edifício fica orientada para o leste, o que permite maior aproveitamento da luz natural durante todo o dia, que dá acesso ao hall de entrada e recepção. Entretanto, além da entrada principal, o edifício dispõe de apenas uma saída de emergência, o que dificulta a circulação de ar natural. O prédio possui um único pavimento, com área construída de 953,61m². A distribuição dos espaços é dada por 33 salas de professores, auditório, copa, secretaria, dois banheiros coletivos, despensa para material de limpeza, recepção e hall de circulação. As salas dos professores são idênticas, tanto em espaço físico, quanto na disposição dos armários e birôs.

⁴ Valor do indicador DTT% que foi superado em apenas 5 % das leituras.

⁵ Para este trabalho a secretaria será tratada como sendo duas salas de professores.

Figura 3. Planta Baixa do Prédio Centro de Engenharias (CE)



Fonte: Autoria própria.

B. Levantamento de dados

O trabalho foi desenvolvido mediante a utilização de basicamente dois processos de pesquisa, sendo eles de caráter exploratório, descritivo/explicativo, que serão utilizados afim de se obter diversos níveis de retorno satisfatório para a coleta de dados.

A pesquisa exploratória, foi desenvolvida de modo a se obter uma melhor noção do assunto abordado e na determinação do enfoque que deverá ter durante a estruturação dos critérios para atingir uma eficiência energética ótima.

A pesquisa descritiva, foi realizada por meio de inspeções e estudo do local, com o intuito de levantar os dados necessários, de iluminação, sistema de climatização artificial e qualidade de energia, baseados nas normas e tópicos citados no referencial teórico deste trabalho.

Os dados serão utilizados na realização de simulações e análises por meio de *softwares* específicos que são, a saber, DIALux, que será utilizado para a avaliação da iluminação artificial; *softwares* disponibilizados pelos fabricantes, para a verificação da climatização do ambiente; e o Excel® para a gerenciamento dos dados. Vale ressaltar que através de análise técnica poderá ser repensada a estrutura física e/ou organizacional da edificação.

1) Sistema de Iluminação

A análise do sistema de iluminação foi feita tomando como base o Manual para aplicação do RTQ-C [7], proposto pelo PROCEL Edifica, com o objetivo de determinar o enquadramento energético da edificação. Além disso, foi verificado o conforto visual do ambiente por meio da NBR ISO 8995:2013, e realizada uma análise da viabilidade econômica da troca da iluminação fluorescente por LED.

O item 5 da ABNT NBR ISO 8995-1:2013, estabelece os requisitos de iluminação mínima para cada ambiente. Diante disso, foram feitas medições de iluminância realizadas por meio do luxímetro digital, Minipa MLM-101, e foram efetuadas de 3 (para o menor ambiente, dispensa) a 20 pontos (para o maior ambiente, auditório) distribuídos ao longo do ambiente, procurando manter equidistância entre os pontos e uma distância mínima de 50x50cm das paredes para os pontos situadas nas extremidades da malha de medição. As medições foram feitas à altura do plano de trabalho, 85cm, e durante o dia, logo contará também com a influência da iluminação natural.

A análise da qualidade da iluminação foi feita por meio de simulação no *software* DIALux EVO 8, pelo fato de ser um dos programas indicados pelo PROCEL para a elaboração de projetos luminotécnicos.

2) Sistema de Climatização

A análise do sistema de climatização, também foi realizada seguindo o Manual do RTQ-C [7], com o intuito de determinar o enquadramento energético do referido sistema. Foi verificado também, os pontos de desperdício do sistema por meio da NBR 16401:2008, e análise de viabilidade econômica da troca por equipamentos mais eficientes de acordo com o Selo PROCEL. Tais pontos se referem ao

controle da temperatura, a umidade, a filtragem, a difusão e a renovação do ar.

A avaliação térmica foi feita por meio de simulações em três *softwares* dos principais fabricantes de sistemas de condicionamento de ar verificados no prédio, como comprovação da qualidade e desempenho do projeto, no que diz respeito ao conforto. Os fabricantes são Eletrolux, Elgin e LG.

3) Qualidade de energia

Os fenômenos que envolvem a qualidade da energia em regime permanente e o consumo ativo de energia, foram medidos por meio do analisador de energia, modelo ET-5061C, da marca Minipa.

A forma de medição adotada foi trifásica a 4 fios, com o intuito de verificar o fenômeno de deslocamento de neutro. O intervalo de integração de dados foi definido como de 5 segundos, iniciando-se às 08:45h, do dia 15/08/2018, até às 17:30h mesmo dia. A Figura 4, ilustra o esquema de ligação mencionado já em operação.

Figure 4. Ligação do analisador de energia



Fonte: Autoria própria.

Os dados da termografia foram obtidos por intermédio do termovisor FLIR® TG167. As medições foram feitas analisando os pontos gerais de temperatura dos quadros geral e de distribuição, a uma distância média de 30 cm, onde após a identificação destes aproximou-se o aparelho, a uma distância de 10 cm, do ponto que apresentou maior temperatura, de forma que os feixes de abertura do aparelho se situassem nos extremos da área de medição final.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente tópico constam os dados provenientes das medições e métodos adotados no decorrer deste trabalho. Além disso, constam indicações e discussões referentes aos dados levantados.

A. Análise Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação artificial do prédio é feito basicamente por meio de lâmpadas fluorescente tubular de 40W, dispostas em luminária tipo colmeia de 2 lâmpadas e reator duplo eletrônico de 2W. Para o restante dos casos que se apresentam, somente na copa, há a iluminação através de

lâmpadas fluorescentes compactas 28W, e uma parte do auditório, luminárias dicroicas, com duas lâmpadas de 40W por ponto de iluminação (são seis pontos de iluminação). Ao total somam-se 214 lâmpadas fluorescentes tubulares, 1 lâmpada fluorescente compacta, 12 lâmpadas dicroicas e 107 reatores.

A Tabela 5 apresenta a lista dos ambientes e a potência total instalada de iluminação, considerando o conjunto lâmpada e reator, além da área de cada ambiente.

Tabela 5 - Potência instalada de iluminação por ambiente

Ambiente	Potência do Conjunto (W)	Área Interna (m²)
Recepção	328	27,60
Circulação	1476	169,32
Copa	110	16,85
Sala dos Professores	5740	594,76
Auditório	1464	113
Dispensa	82	5,25
Banheiro	328	26,50
TOTAL	9528	953,61

Fonte: Autoria própria.

A primeira parte da avaliação foi iniciada com a observação dos pré-requisitos descritos na seção de sistema de iluminação (seção II, subseção A).

Observou-se que todos os ambientes da edificação se apresentam em conformidade com o pré-requisito de *Divisão dos Circuitos de Iluminação*. Já o pré-requisito de *Contribuição da Luz Natural*, foi atendido por todos os ambientes, com exceção da recepção, onde o seccionamento do circuito de iluminação é feito de forma perpendicular à área de entrada de luz natural.

O último pré-requisito em questão é o de *Desligamento automático do sistema de iluminação*, onde este por sua vez se encontra atendido devido a área interna de cada ambiente, onde nenhum destes ultrapassa o limite de 250m².

Posteriormente utilizou-se o método das atividades por ambiente do edifício para calcular a densidade de potência da iluminação interna e de acordo com o nível proposto no RTQ-C [7], de modo a definir o nível de eficiência do sistema.

Identificou-se as atividades principais exercidas no edifício e a potência de iluminação limite DPIL (W/m²) para cada ambiente e para cada nível de eficiência, de acordo com a Tabela 4.2 do Manual para aplicação do RTQ-C [7], onde esta foi adaptada e está representada pela Tabela 6.

Tabela 6 - Densidade de potência limite por ambiente por m²

Ambiente	DPIL Nível A (W/m²)	DPIL Nível B (W/m²)	DPIL Nível C (W/m²)	DPIL Nível D (W/m²)
Recepção	6	7,2	8,4	9,6
Circulação	7,1	8,52	9,94	11,36
Copa	11,5	13,8	16,1	18,4
Sala dos professores	11,9	14,28	16,66	19,04
Auditório	8,5	10,2	11,9	13,6
Dispensa	5	6	7	8
Banheiro	5	6	7	8

Fonte: Adaptado de [7].

Dando continuidade à análise, multiplicou-se a área iluminada de cada atividade por sua respectiva DPIL, para encontrar a potência limite para cada atividade (Tabela 7).

Tabela 7 – Densidade de potência limite para cada ambiente

Ambiente	Área (m ²)	Pot. Limite - Nível A	Pot. Limite - Nível B	Pot. Limite - Nível C
Recepção	27,60	165,60	198,72	231,84
Circulação	169,32	1202,17	1442,61	1683,04
Copa	16,85	193,78	232,53	271,29
Sala dos Professores	594,76	7077,64	8493,17	9908,70
Auditório	113,00	960,50	1152,60	1344,70
Dispensa	5,25	26,25	31,50	36,75
Banheiro	26,50	132,50	159,00	185,50
TOTAL	953,28	9758,44	11710,1	13661,8

Fonte: Autoria própria.

A potência limite do edifício será determinada através da somatória das potências limites de todas as atividades. Por fim comparou-se a potência total instalada do edifício e a potência limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação. Comparando a potência total instalada do sistema (*vide* Tabela 5) com as potências limites totais para cada nível presente na Tabela 7, tem-se que, a potência do total do sistema de iluminação (9528W) é menor que a potência limite para o nível A, que para esse estudo ficou em 9758,44W. Logo o nível de eficiência encontrado é A.

Ressalta-se, no entanto, que mesmo que o nível presente seja dado como A, não é garantia que o conforto e nível de luminosidade adequada para o ambiente de trabalho.

De maneira a observar se a luminosidade local se apresentava adequada, foi utilizado o item 5 da ABNT NBR ISO 8995-1:2013, que estabelece os requisitos de iluminação mínima para cada ambiente.

O requisito de iluminação para os ambientes do prédio pode ser visto por meio da Tabela 8, na qual também constam a média de iluminância medida através do luxímetro.

Tabela 8 - Níveis de iluminância

Ambiente	Iluminância (lux) medida	Iluminância (lux) ISO 8995
Recepção	620,83	300
Circulação	173,19	100
Copa	212,4	200
Sala dos professores	244,6	300
Auditório	273,56	500
Dispensa	285,67	100
Banheiro	206,56	200

Fonte: Autoria própria.

Através da Tabela 8, é possível observar que parte da iluminação do prédio está subdimensionada, estando abaixo do especificado pela norma. Mesmo não subdimensionada, a circulação apresenta um total de 15 lâmpadas queimadas. Tal fato prejudica a circulação dos usuários no prédio, uma vez que existem trechos que apresentam iluminância de 8 a 14 lux, bem abaixo do indicado.

Foi percebido durante as visitas que, alguns usuários utilizavam toda a iluminação presente no ambiente, mesmo este apresentando seccionamento, o que permite o

acionamento independente dos grupos de luminária. Tal fato teve sua maior ocorrência nas salas dos professores, e decorre não somente devido ao uso inadequado, mas também ao subdimensionamento do sistema de iluminação.

B. Indicação para o Sistema de Iluminação

A primeira indicação refere-se à correção dos pré-requisitos exigidos pelo Manual do RTQ-C [7] e que não são atendidos pelo sistema.

Para a correção do pré-requisito, Contribuição da Luz Natural, a simples e objetiva medida de alteração da forma de seccionamento já atenderia. De modo que este deve proporcionar o desligamento dos conjuntos de luminárias paralelamente a área de entrada de luz natural.

O pré-requisito de *Desligamento automático do sistema de iluminação*, mesmo sendo atendido, é indicado o uso de um sistema automático com desligamento da iluminação 30 minutos após a saída de todos ocupantes. Essa indicação se dá devido ao tamanho do edifício e a quantidade de usuários e hábitos de uso.

Com o intuito de reduzir o consumo e geração de carga térmica, além de melhorar a qualidade da iluminação ambiente, propõe-se também a troca do sistema de iluminação fluorescente por iluminação do tipo LED.

A construção do modelo do edifício foi feita em 3D, por intermédio do programa DIALux EVO 8, de forma a incluir todas as características da edificação previamente recolhidas, tornando a simulação o mais real possível.

A validação do modelo simulado, foi feita verificando a correspondência entre os dados de entrada e saída do respectivo programa, e comparando estes com os dados obtidos através das medições feitas com o luxímetro.

A Figura 5 apresenta a fachada do edifício já simulado.

Figura 5. Simulação da fachada do edifício

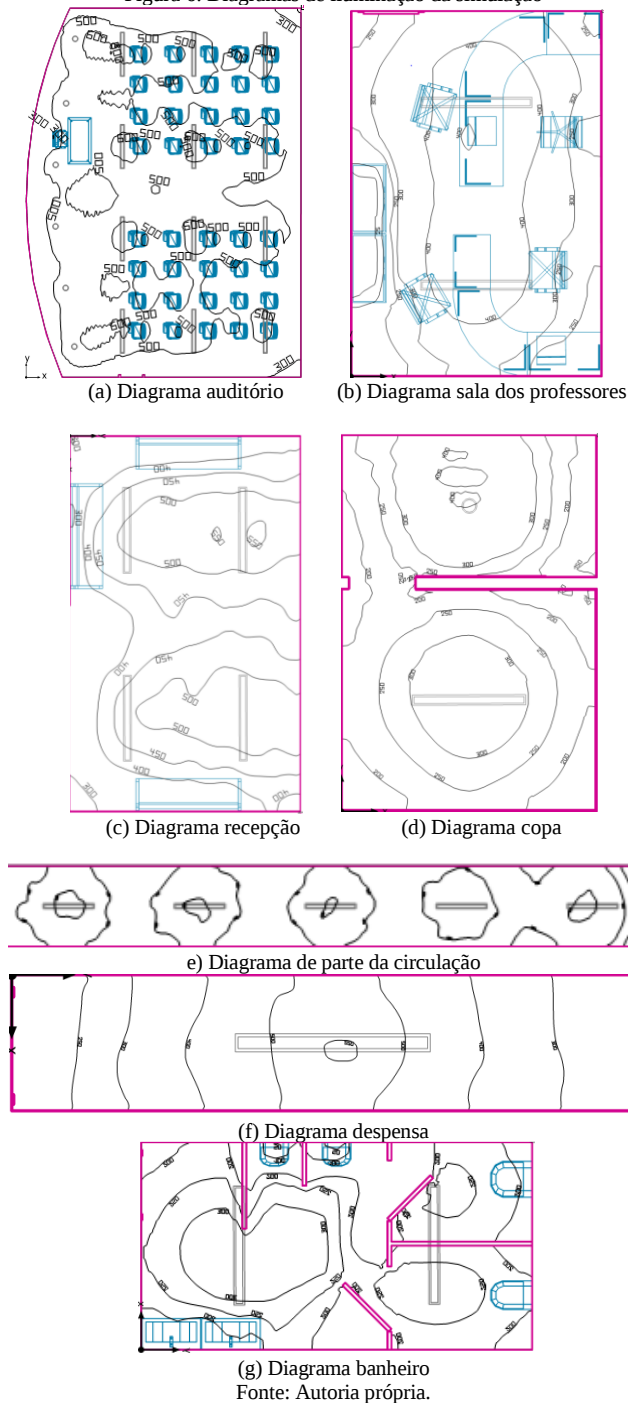


Fonte: Autoria própria.

Devido à grande semelhança entre as salas dos professores, tanto em termos de dimensões físicas quanto em relação a disposição espacial dos objetos no ambiente, ilustrou-se apenas uma sala. O mesmo ocorre com relação aos banheiros, logo será apresentada a simulação para somente um destes ambientes.

A Figura 6 ilustra a simulação feita para cada ambiente listado do edifício. Sendo a Figura 6(a) auditório; a Figura 6(b) sala dos professores; a Figura 6(c) a recepção; a Figura 6(d) a copa; a Figura 6(e) a circulação; a Figura 6(f) a dispensa, e por fim a Figura 6(g) o banheiro.

Figura 6. Diagramas de iluminação da simulação



O resumo dos dados da simulação dos locais mostrados na Figura 6, pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 - Nível de iluminância da simulação

Ambiente	Iluminância (lux) Simulada
Recepção	397
Circulação	324
Copa	264
Sala dos professores	328
Auditório	502
Despensa	278
Banheiro	228

Fonte: Autoria própria.

Os dados obtidos na simulação, vide Figura 6 e Tabela 9, comprovam a realidade dos dados obtidos através das medições, e estes indicam que a troca das lâmpadas fluorescentes tubulares de 40W, por lâmpadas LED's tubulares de 18W e 2000lm, consegue manter o mesmo nível de qualidade luminosa para o ambiente.

Os ambientes que não possuíam nível de iluminância adequado, de acordo com a NBR ISO 8995:2013, necessita a substituição de suas lâmpadas por outras que apresentassem maior fluxo luminoso. Sendo estas as de LED's tubulares de 23W e 2700lm. As lâmpadas fluorescentes compactas de 28W e dicroicas de 40W foram substituídas por lâmpadas tipo LED equivalentes de 12W e 1100lm.

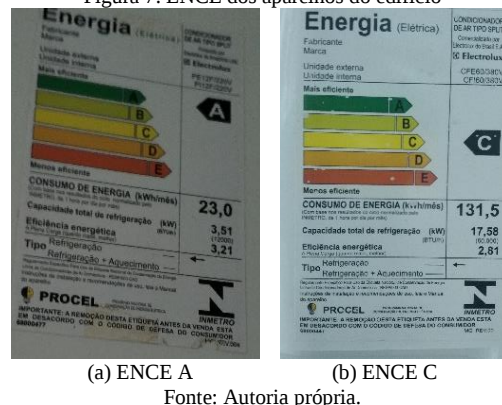
C. Análise do Sistema de Climatização

O Sistema de climatização artificial do edifício contempla todas as salas de professores, a diretoria e o auditório, onde estes são distribuídos com um equipamento de condicionamento de ar por sala de professor; dois para a diretoria (um para cada ambiente da diretoria); e dois para o auditório. O número de ares condicionados do prédio se totaliza em 37.

De forma geral, os condicionadores de ar locados nos ambientes são do tipo *Split Hi-Wall* de 12000BTUs e possuem ENCE tipo A, com exceção dos condicionadores de ar do auditório, que são do tipo *Split Piso-Teto* e apresentam ENCE tipo C e 60000BTUs.

As unidades condensadoras do sistema *split* estão localadas na parte superior do edifício, acima do telhado, estando estas expostas a intempéries. A Figura 7(a) e 7(b) apresentam, respectivamente, as etiquetas tipo A e tipo C encontradas nos aparelhos.

Figura 7. ENCE dos aparelhos do edifício



Para analisar os sistemas de condicionamento de ar, avaliou-se o pré-requisito específico em cada ambiente separadamente, para obter o nível de eficiência A. Para isso, foi seguido o fluxograma do *checklist*, já apresentado na Figura 2.

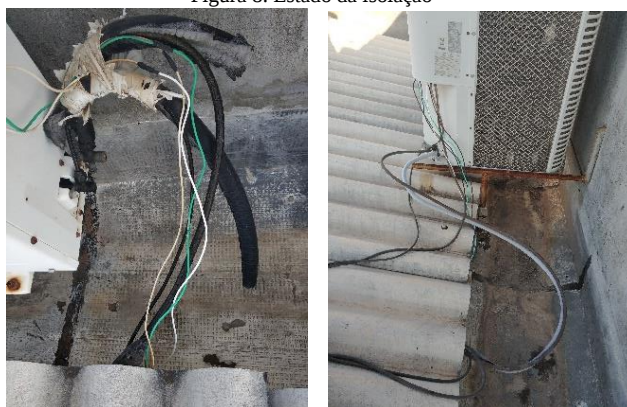
Primeiramente foi observado o tipo de isolamento presente ao longo da tubulação de refrigeração do condensador de ar, e se a mesma se encontrava em boas condições e contemplando toda a tubulação. O isolamento foi identificado como sendo do tipo espuma elastomérica que, de acordo com [17], apresenta condutividade térmica igual a 0,036W/m.K, a uma temperatura de 0°C, e 0,040W/m.K a uma temperatura de 40°C, estando essa situada dentro da

faixa de condutividade indicada pela Tabela 5.2 do Manual do RTQ-C [7], que foi mostrada na Tabela 2 deste trabalho.

Concluída a etapa de identificação do tipo de isolamento, a etapa seguinte refere-se à medição do diâmetro nominal da tubulação, onde foi verificado um diâmetro de 10mm para esta, e de 32mm para a espuma elastomérica utilizada na isolamento. Os dados estão de acordo com o indicado pela Tabela 2.

Uma vez que o sistema de condicionamento não apresenta a função de aquecimento de ar artificial, o pré-requisito para a isolamento deveria ter sido atendido, mas devido as condições ao qual se encontrava o material de isolamento, assim não será considerado. A Figura 8, ilustra a real situação da isolamento dos condutores do sistema de refrigeração, onde foi avaliado que apenas 40% dos aparelhos de condensação apresentavam isolamento realmente adequada, contemplando todo tubo e não apresentando desgastes severos ou até mesmo ausência total de isolamento. A Figura 8(a) mostra o sistema de isolamento totalmente desgastado. A Figura 8(b) apresenta o sistema com ausência de isolamento.

Figura 8. Estado da isolamento



(a) Isolamento desgastado

(b) Ausência de isolamento

Fonte: Autoria própria.

O procedimento de determinação da eficiência se iniciou com a quantificação e determinação da eficiência de cada sistema individualmente, e a obtenção de seus equivalentes numéricos foi possível utilizando a Tabela 1 deste trabalho. A Tabela 10 apresenta um resumo desses dados.

Tabela 10 – Equivalente numérico dos ares condicionados

Ambiente	Quant.	Potência [BTU/h]	Eficiência da Unidade	Equivalente Numérico (vide Tabela 1)
Sala dos Professores	35	12000	A	5
Auditório	2	60000	C	3
TOTAL	37	540000	-	-

Fonte: Autoria própria.

Foi feita a ponderação dos equivalentes numéricos de cada sistema por sua potência (BTU/h) dividida pela capacidade total (somatória das potências de todas as unidades de refrigeração). Multiplicou-se o coeficiente de ponderação de cada unidade pelo equivalente numérico de

eficiência, obtendo um resultado ponderado. Os dados da ponderação são mostrados através da Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado ponderado

Ambiente	Equivalente Numérico	Coeficiente de Ponderação	Resultado Ponderado
Sala dos Professores	5	0,02222	3,89
Auditório	3	0,11111	0,67
TOTAL	-	-	4,56

Fonte: Autoria própria.

O valor total do resultado ponderado, mostrado na Tabela 11, indica a classificação do sistema de condicionamento de ar, onde esta pode ser feita através da verificação desse valor dentro da Tabela 1, situada na seção I deste trabalho.

Através do resultado obtido, o sistema se encaixa no nível de eficiência A, mas devido ao fato do mesmo não cumprir os pré-requisitos de isolamento, o seu nível é reduzido para o nível B.

De acordo com [9], uma das possibilidades de verificação da carga térmica adequada, é através da análise por intermédio de *softwares* fornecidos pelos fabricantes dos aparelhos, isso para sistemas considerados como simples, por exemplo, dimensionamento individual de blocos com baixo fluxo de pessoas e que não apresenta alto quantitativo de aparelhos elétricos que podem vir a interferir no cálculo da carga térmica. A base geral para o método de cálculo para a carga térmica utilizado nos programas, é através do cálculo da ação da condução, convecção e radiação de uma superfície para outra superfície em um determinado ambiente, considerando as dimensões, o número de aparelhos eletrônicos e de pessoas no local. Dessa maneira toda a avaliação da capacidade térmica foi feita por meio de simulações. Os dados de entrada dos programas são basicamente os mesmos ou equivalentes, e estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Dados de entrada dos simuladores

Características do ambiente	Sala dos professores	Auditório
Localização	RN	RN
Área	17,2m ²	113,13m ²
Incidência de sol	Dia inteiro	Dia inteiro
Cobertura	Laje	Laje
Quant. Lâmpadas	4	30
Quant. Eletrônicos	4	20
Quant. Pessoas	2	60

Fonte: Autoria própria.

O resultado da potência de refrigeração indicado por cada fabricante esta apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Resumo dos resultados da simulação

Ambiente	Eletrolux (BTU)	Elgin (BTU)	LG (BTU)
Sala dos Professores	12194	12000	13000
Auditório ⁶	97982	96000	120000

Fonte: Autoria própria.

⁶ O auditório possui duas unidades de climatização, sendo cada uma delas de 60000BTU's, logo a capacidade total instalada se dá em 120000BTU's. Os dados da simulação consideram a somatória das unidades por ambiente.

Diante dos dados obtidos, e expostos através da Tabela 13, percebe-se que a edificação teve sua capacidade térmica bem dimensionada, de modo que todos os valores simulados permeiam os valores de potência das unidades instaladas por ambiente. Sendo estes de 12000BTU's por sala de professor, e 120000BTU's (dois ares condicionados de 60000BTU's cada) para o auditório.

D. Indicação para o Sistema de Climatização

Com relação ao sistema de climatização, a primeira indicação refere-se à correção do pré-requisito exigido e que não se encontrava atendido. Para isso deve-se reestabelecer a isolamento dos tubos dos condensadores e dessa forma cumprir o pré-requisito, melhorando a eficiência do sistema e sua classificação, que se altera do nível B para o nível A.

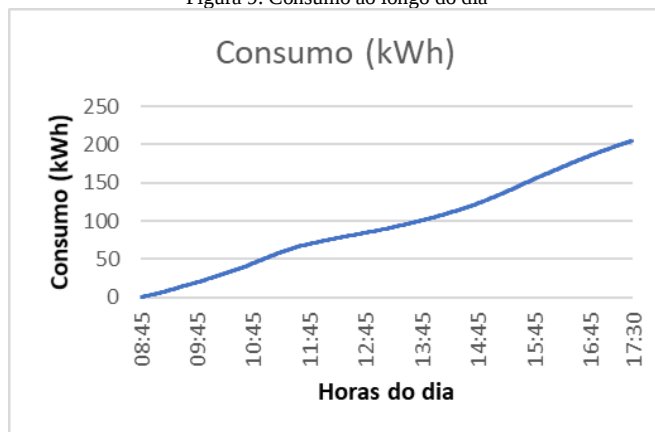
Outra indicação se dá em retirar as unidades condensadoras dos condicionadores do telhado e acomodá-las em local sombreado e com ventilação adequada de forma a resguardar o equipamento de intempéries e ter um mínimo de interferência em sua eficiência.

Por fim, sugere-se a instalação de um sensor de ocupação que seja capaz de desligar o sistema quando nenhum ocupante é detectado por um período de até 30 minutos. A justificativa para a instalação desse sistema se dá da mesma forma que para o sistema de iluminação (sessão IV, subseção B).

E. Análise dos parâmetros de qualidade de energia

Antes de tratar sobre a análise dos parâmetros de qualidade de energia, é importante observar o comportamento do consumo de energia do prédio em estudo. A Figura 9, apresenta o gráfico de consumo de energia elétrica da edificação através do analisador de energia, entre 08:45h e 17:30h, com um intervalo de integração de 5 seg.

Figura 9. Consumo ao longo do dia



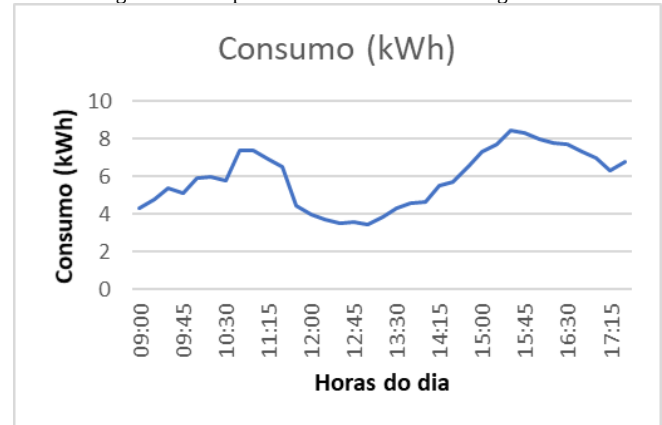
Fonte: Autoria própria.

O analisador de energia promove a integração gradual dos dados de consumo, de modo que o ponto seguinte será dado através da somatória do ponto atual com o ponto anterior. O que para este caso resultou em um consumo ativo total, para o período analisado, de 205,75kWh.

Entretanto, para obter a forma de flutuação do consumo instantâneo com o tempo, para intervalos de 15min, foi feita a manipulação dos dados obtidos com o analisador de

energia. A manipulação dos dados foi realizada através do programa Excel®, de forma a se obter o consumo instantâneo (de 5 em 5 segundos), onde estes foram agrupados em intervalos de 15min, com a função de obter a forma de flutuação do consumo instantâneo com o tempo, ilustrado pela Figura 10.

Figura 10. Comportamento do consumo ao longo do dia



Fonte: Autoria própria.

Diante da Figura 10, é possível observar que os picos de consumo são dados durante o período compreendido entre as 10:45h às 11:15h e das 15:15h às 16:15h. Esse aumento ocorre devido ao aumento do fluxo de pessoas no prédio nesses horários.

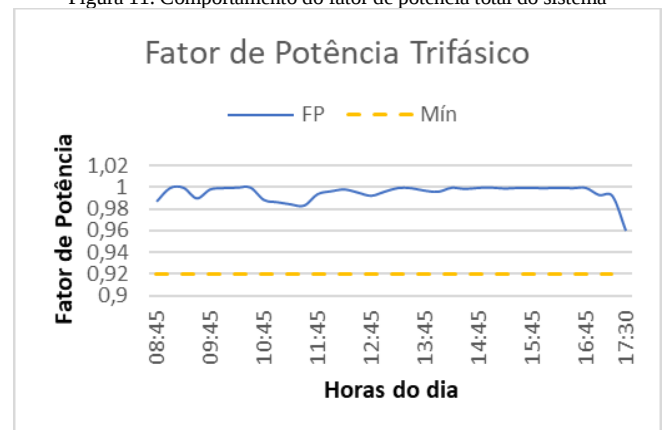
1) Análise do Fator de Potência

A Figura 11 apresenta o comportamento do fator de potência trifásico do sistema, que é considerado na medição e faturamento pela concessionária.

Ao longo da medição o mesmo se manteve em 0,99, apresentando valores de até 0,96 para os horários de 10:45h às 11:45hrs, e após às 17h. Tal fato teve sua provável ocorrência, pois essas são as faixas de horários em que o edifício apresenta maior índice de usuários, consequentemente maior utilização de aparelhos que apresentam fator de potência menor que o unitário.

Mesmo diante da redução do fator de potência durante os horários já citados, o sistema não apresenta riscos de taxas futuras devido ao baixo fator de potência, considerando que o mesmo não sofra modificações em sua estrutura.

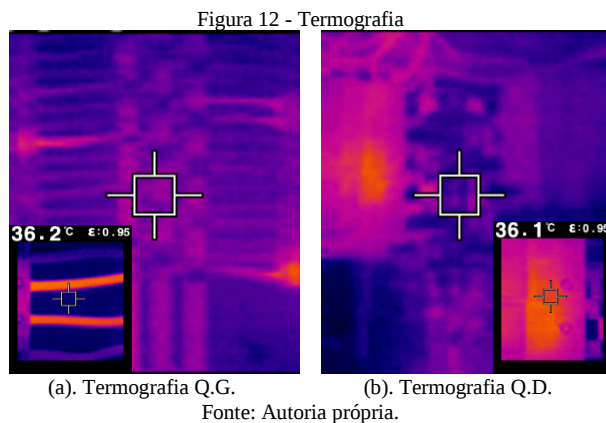
Figura 11. Comportamento do fator de potência total do sistema



Fonte: Autoria própria.

2) Temperatura Barramento

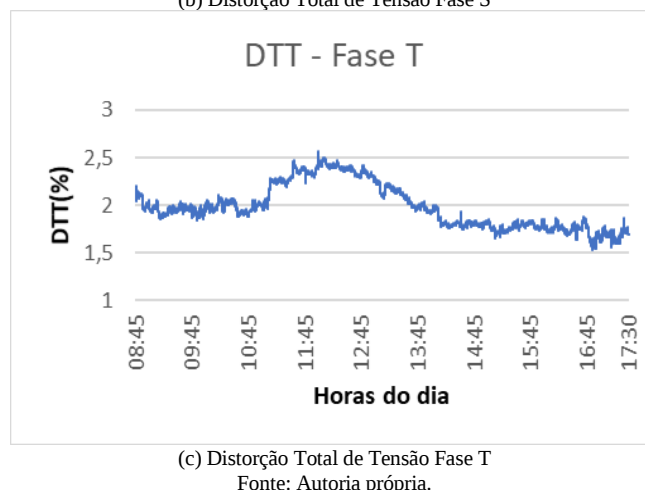
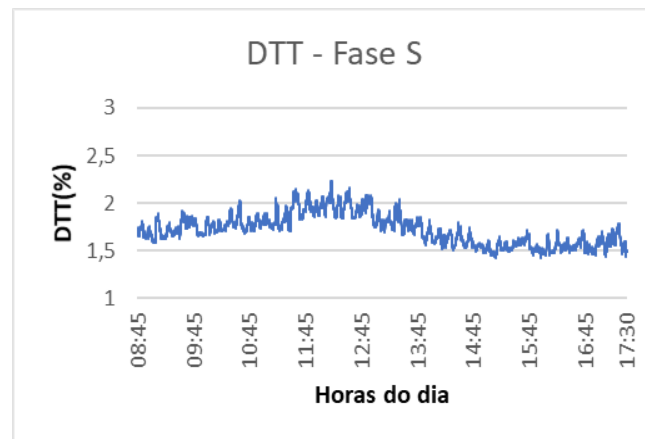
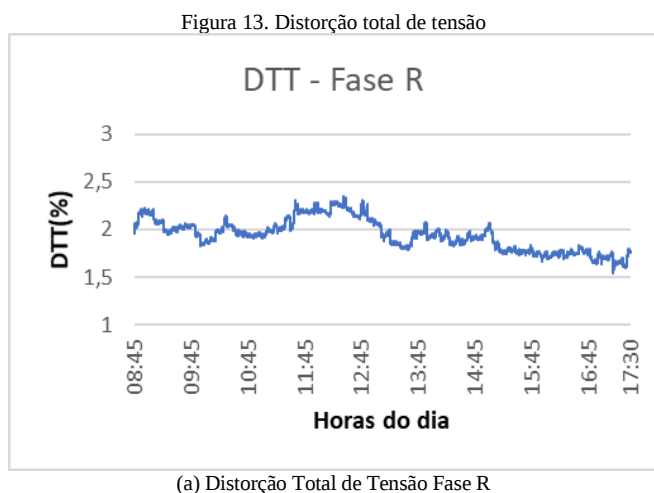
A Figura 12 mostra os pontos de temperatura máxima obtidas através da análise termográfica. A primeira, Figura 12(a), corresponde a termografia do quadro geral do prédio, onde o ponto de máxima temperatura chegou a 36,2°C, em parte dos condutores de saída. A Figura 12(b) corresponde ao quadro de distribuição que apresentou maior elevação de temperatura, onde esta foi identificada em um dos disjuntores secundários.



As temperaturas obtidas e mostradas na Figura 12, demonstram que não há excesso de perdas provenientes de aquecimento elevado nos barramentos ou demais elementos dos quadros do edifício, uma vez que estas chegaram a um máximo de 52% das temperaturas limites, indicadas pelas NBR's responsáveis.

3) Análise das Amplitudes Harmônicas

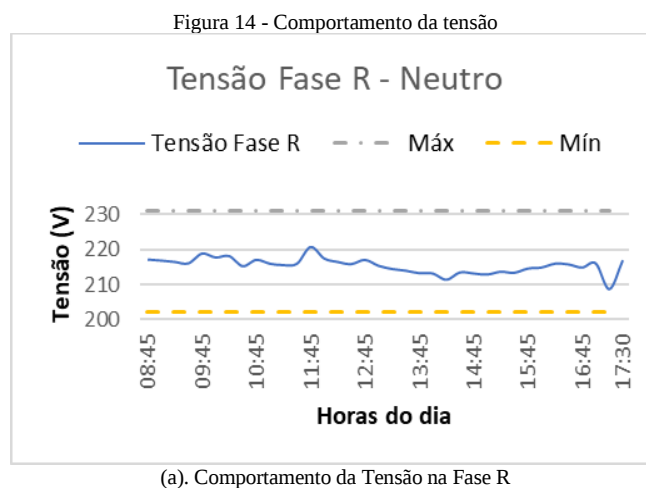
Com relação à distorção harmônica, foi analisado apenas um parâmetro, sendo ele Distorção Total de Tensão (DTT), devido ao fato de que durante a seleção dos dados no analisador de energia, não foi possível a adição de todos os parâmetros harmônicos mantendo ao mesmo tempo a seleção dos dados de consumo e potência. Para o parâmetro analisado, o limite estabelecido pela ANEEL é de 10%, para tensões abaixo de 1kV. A Figura 13 apresenta o gráfico obtido mediante os dados do analisador de energia, da DTT pelo tempo, com relação a Fase R (Figura 13 (a)), Fase S (Figura 13 (b)) e Fase T (Figura 3 (c)).

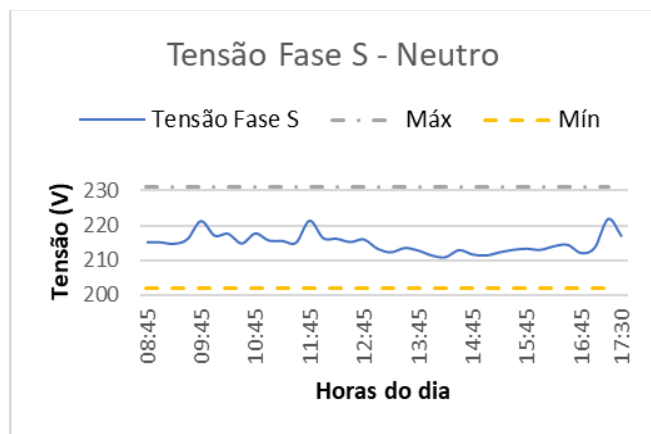


Através da análise dos gráficos da Figura 13, é possível aferir que a DTT se encontra dentro do limite normatizado pela ANEEL, dispensando assim qualquer tipo de correção, como a instalação de filtros de sinais.

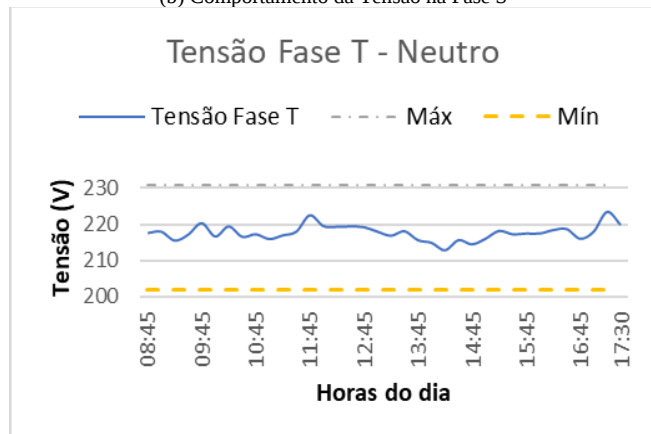
4) Análise da Estabilidade de Tensão

A Figura 14 mostra o comportamento da tensão fase-neutro medidos nas fases R-S-T, através de gráficos plotados com auxílio dos dados do analisador de energia. Para facilitar a análise, os limites máximos (231V) e mínimos (202V) para a variação da tensão foram inseridos no gráfico.





(b) Comportamento da Tensão na Fase S



(c) Comportamento da Tensão na Fase T

Fonte: Autoria própria.

Analisando os gráficos apresentados através da Figura 14, é possível perceber que as três fases não apresentaram flutuações de tensão fora dos limites estabelecidos pela ANEEL. Onde a máxima tensão apresentada pelo sistema teve valor acima da tensão nominal (220V), atingindo um pico de 224,2V na Fase T, e valor mínimo de 208,5V na Fase R. A tensão do neutro se manteve em zero durante todo o período de medição, o que comprova a sua correta diferença de potencial nula com relação ao terra.

F. Estimativa Econômica

Com base na substituição dos equipamentos de iluminação e climatização por equipamentos com melhor nível de eficiência, esse item visa analisar a viabilidade da troca. O levantamento da quantidade de horas de consumo para os diversos ambientes do edifício está disposto na Tabela 14, e foram obtidos através das visitas *in loco*.

Tabela 14 - Número de dias e horas de uso dos ambientes

Ambiente	Dias estimados Uso/Mês	Horas de Uso/Dia (h)
Recepção	22	5
Circulação	22	14
Copa	22	5
Sala dos Professores	22	6
Auditório	8	3
Despensa	22	3
Banheiro	22	4

Fonte: Autoria própria.

1) Estimativa Econômica Sistema de Iluminação

Foi feita a análise do retorno financeiro, devido ao consumo de energia proveniente da iluminação artificial para o período de um ano, mediante a troca das lâmpadas fluorescentes por LED, como indicado no subtópico B, da Sessão IV. A Tabela 15 apresenta de forma resumida os dados da análise de consumo do sistema atual de iluminação e após a troca por iluminação do tipo LED, considerando os horários de funcionamento informados Tabela 14 deste trabalho.

Tabela 15 – Resumo da potência e consumo por ambiente (iluminação)

Ambiente	Potência do Conjunto Fluores. (W)	Potência do Conjunto LED (W)	Consumo Fluorescente (kWh)	Consumo LED (kWh)
Recepção	328	144	36,08	15,84
Circulação	1476	648	454,61	199,58
Copa	110	48	12,10	5,28
Sala dos Professores	5740	3220	757,68	425,04
Auditório	1464	624	35,14	14,98
Despensa	82	36	5,41	2,38
Banheiro	328	144	28,86	12,67
TOTAL	9528	4864	1329,88	675,77

Fonte: Autoria própria.

Mediante obtenção das estimativas de consumo, foi feita a análise econômica, mostrada na Tabela 16, considerando uma tarifa de 0,34R\$/kWh. O valor da tarifa foi obtido mediante análise das faturas de energia da Universidade.

Tabela 16 – Estimativa de economia após a troca da iluminação

Ambiente	Gasto mensal (R\$) Fluorescente	Gasto mensal (R\$) LED	Economia (R\$)
Recepção	12,27	5,39	6,88
Circulação	154,57	67,86	86,71
Copa	4,11	1,80	2,32
Sala dos Professores	257,61	144,51	113,10
Auditório	11,95	5,09	6,85
Despensa	1,84	0,81	1,03
Banheiro	9,81	4,31	5,51
TOTAL	452,16	229,76	222,40

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser visto na Tabela 16, a estimativa econômica da troca do sistema de iluminação promove quase 50% de redução dos gastos com o faturamento de energia da iluminação, e que o ambiente da circulação e sala dos professores representam pouco mais de 90% dos gastos com iluminação.

Considerando um custo de R\$23,00 por lâmpada, o retorno financeiro, diante da substituição de todo o sistema de iluminação, será dado em 9 meses.

2) Estimativa Econômica Sistema de Climatização

A estimativa econômica para o sistema de climatização foi feita com base na troca dos aparelhos atuais por equivalentes, mas com os melhores níveis de eficiência da categoria de acordo com o INMETRO.

Os dados de consumo dos sistemas de ar condicionado foram obtidos através da ENCE presente nos equipamentos. O consumo da unidade de climatização é de 0,77 kWh para 1h de uso, para as unidades de 12000BTU's e 4,38kWh para 1h de uso, para os aparelhos de 60000BTU's.

Os dados de consumo dos equipamentos novos, indicados para a substituição foram obtidos através das tabelas do PBE do INMETRO, para condicionadores de ar tipo *Slipt Hi-Wall* e *Slipt Piso-Teto*. O sistema mais eficiente, em sua respectiva categoria, com potência de 12000BTU's e 60000BTU's, avaliado pelo INMETRO, tem consumo respectivamente de 0,71kWh e 3,79kWh para 1h de uso. A Tabela 17 traz o resumo da potência e consumo por ambiente referente a climatização.

Tabela 17 – Resumo da potência e consumo por ambiente (climatização)

Ambiente	Descrição	Consumo Atual (kWh) para 1 dia por 1hr	Consumo eficiente (kWh) para 1 dia por 1hr	Consumo Atual (kWh) para 1 mês	Consumo eficiente (kWh) para 1 mês
Sala dos professores	Ar Condicionado (12000BTUs)	26,83	24,85	3542	3280,20
Auditório	Ar Condicionado (60000BTUs)	8,77	7,58	210,4	181,92

Fonte: Autoria própria.

Mediante obtenção das estimativas de consumo, foi realizada a análise econômica considerando a tarifa de 0,34R\$/kWh já informada e utilizada anteriormente, Tabela 18.

Tabela 18 – Resumo do gasto e economia por ambiente (climatização)

Ambiente	Gasto mensal (R\$) - Sistema Atual	Gasto mensal (R\$) - Sistema mais eficiente	Economia
Sala dos professores	1204,28	1115,27	89,01
Auditório	71,54	61,85	9,68
TOTAL	1275,82	1177,12	98,70

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 18, percebe-se que a economia mensal é de aproximadamente R\$100,00, o que é considerado baixo diante dos valores das unidades de condicionamento ar, onde estas podem variar de R\$1.200,00, para as de 12000BTU's, a R\$7.000,00 para as de maior potência (60000BTU's). O custo de aquisição das unidades foi obtido mediante levantamento no mercado local.

Diante dos dados apresentados na Tabela 18 e considerando um custo por equipamento de R\$1.200,00, se percebe que não é viável a substituição do sistema por um mais eficiente, pois o retorno financeiro por unidade de condicionamento de ar se daria no período de 1 ano, visto que a economia mensal se dá em aproximadamente R\$100,00. Estendendo a análise anterior para substituição de todo o sistema de condicionamento de ar, o retorno financeiro se daria em um período de 37 anos.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se propôs a avaliar a eficiência do prédio Centro de Engenharias (CE), da UFERSA, no que diz respeito ao sistema de iluminação, climatização e a qualidade de energia por meio do PROCEL Edificações e das normas e

normatizações utilizadas na elaboração deste trabalho. Tais fatores são de extrema importância e observou-se que, por meio de medidas que garantam uma eficiência energética adequada destes, é possível obter um retorno financeiro satisfatório.

Depreendeu-se que, apesar do sistema de iluminação do prédio em sua construção não ter seguido o Manual para Aplicação do RTQ-C, o mesmo apresentava, sem a troca das lâmpadas, um nível de eficiência A, atendendo de forma geral aos pré-requisitos estabelecidos, o que demonstra o aumento da preocupação no que diz respeito ao correto dimensionamento e distribuição do sistema de iluminação. Entretanto, foi constatado que o nível de eficiência A, não é suficiente para garantir um conforto de luminosidade apropriado nos ambientes do auditório e nas salas dos professores. O cumprimento da NBR ISO/CIE 8995, por meio do dimensionamento adequado, utilizando o *software* DIALux, mostrou-se completamente necessário, pois garantiu um fluxo luminoso que proporciona conforto visual aos envolvidos nos serviços do prédio em questão. Além de conforto visual, o dimensionamento com a troca de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas do tipo LED, proporciona uma economia de pouco mais de R\$2.600,00 ao ano. A troca de lâmpadas por LED se mostrou completamente útil e viável, pois quase 50% do faturamento de energia correspondente é reduzido.

No que diz respeito ao sistema de climatização, foi conferido a este um nível de eficiência B, devido ao requisito de isolação não ser atendido. Tendo isso em vista foi inferido que é necessário cumprir este requisito para que o prédio possa ter um nível de eficiência A no sistema de climatização. Além disso, ressalta-se, que os condensadores dos ares condicionados necessitam de um local de armazenamento adequado com sombreamento e ventilação, de forma que as condições de intempéries não interfiram na eficiência de climatização. Em relação a troca dos ares condicionados por modelos mais eficientes, é necessário complementar, que não se mostrou viável devido ao fato de que a economia de energia proveniente desta se apresenta irrisória diante os valores das unidades de condicionamento de ar. Porém, é importante ressaltar que em uma futura troca dos equipamentos de ar condicionado por questão de falha no funcionamento ou outros comprometimentos da máquina, indica-se que sejam substituídos por modelos com Selo PROCEL, ou seja, o mais eficiente da categoria.

Em relação a qualidade de energia, percebeu-se que todos os parâmetros estão dentro dos limites estipulados pela ANEEL. Diante disso ressalta-se que, o valor do fator de potência se manteve acima de 0,92, mesmo durante os horários de maior consumo de energia do prédio e que os barramentos e os demais componentes do quadro se encontraram em temperatura de operação adequada.

Vê-se a importância deste trabalho de forma a disseminar os projetos de eficiência energética que envolve edifícios do poder público ou comercial, bem como de apresentar algumas diretrizes indicadas por estes. Além de expor dados de redução de consumo e melhoramento térmico e visual, com base nas normas NBR 8995:2013 e NBR16401:2008, e mediante a substituição dos aparelhos instalados atualmente por de maior eficiência.

Devido ao trabalho não apresentar o estudo da envoltória do edifício, fator presente para a obtenção da classificação

geral de eficiência do prédio, é sugerido um estudo com esse fim. Uma das indicações de programas para a avaliação de envoltória é o *Desing Builder*, programa indicado pelo PROCEL, o qual é capaz de fazer toda uma avaliação termo energética mais detalhada.

Outra sugestão para futuros trabalhos diz respeito ao estudo mais específico da sazonalidade do edifício, analisando-o por um período mais extenso, com o intuito de avaliar o surgimento das distorções harmônicas de corrente presentes na edificação.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, Andrezza Amaral Nunes de. **Qualidade da energia em projetos de eficiência energética**. 2011. 60 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9C6FLY/qualidade_da_energia_monografia_esp_qee_2010_andrezza_oliveira.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 set. 2018.
- [2] PROCEL Info (Org.). **Etiquetagem de Eficiência Energética em Edificações**. 2018. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04%7D>>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [3] UNITED NATIONS (Org.). **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. 2018. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [4] ABESCO (Org.). **Desperdício de energia atinge R\$ 61,7 bi em três anos. Folha de Londrina**, Londrina, p.3-3, 22 maio 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-atinge-r-617-bi-em-tres-anos/>>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [5] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (Org.). **Plano Nacional de Energia 2030**. 2006. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [6] BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia (Org.). **Eficiência energética na indústria e nas residências: no horizonte decenal (2010-2019)**. 2010. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-270/20100809_4\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-270/20100809_4[1].pdf)>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [7] PROCEL EDIFICA. Ministério de Minas e Energia (Org.). **Manual para Aplicação do RTQ-C: Comercial, de Serviço e Público**. 4. ed. Brasil, 2017. 213 p. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BABFC610F-53E8-439D-9AF5-8F305CD7338B%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995: Iluminação de ambientes de trabalho**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2013. 46 p.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401: Instalação de Ar-Condicionado - Sistemas centrais e unitários**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2008. 60 p.
- [10] GRIGSBY, Leonard L.. **The Electric Power Generation, Transmission, and Distribution**. 3. ed. Mumbai: Crc Press, 2012. 3036 p.
- [11] DUGAN, Roger C. et al. **Electrical Power Systems Quality**. 2. ed. Net: Copyrighted Material, 2004. 525 p.
- [12] COPEL DISTRIBUIÇÃO (Paraná) (Org.). **Fator de Potência: Em busca da eficiência energética nas instalações elétricas**. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/\\$FILE/fator_potencia.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/fator_de_potencia/$FILE/fator_potencia.pdf)>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61439: Conjuntos de manobra e comando de baixa tensão**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2016.
- [14] Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR IEC 60947-2: Dispositivos de manobra e comando de baixa tensão - Parte 2: Disjuntores**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2013. 80 p.
- [15] KAGAN, Nelson; ROBBIA, Ernesto João; SCHMIDT, Hernán Prieto. **Estimación de indicadores de qualidade de energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2009. 230 p.
- [16] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (Org.). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: 04 set. 2018.
- [17] AVOCELL (Org.). **Catálogo - Lista de precios 2015**. Net: It-flex, 2015. Disponível em: <<https://www.totaline.com.ar/wp-content/uploads/2016/08/18-Cat%C3%A1logo-Aislaciones-Evocell.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CENTRO DE ENGENHARIAS

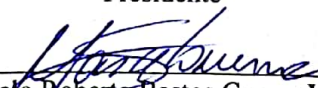
ATA DA DEFESA DE MONOGRAFIA

Às 15:50h do dia 11 de setembro de 2018, no Laboratório de Energias Renováveis (LENERG), Campus Leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, sede em Mossoró/RN, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de monografia de autoria do aluno **José Klauber Gurgel Nóbrega de Queiroz**, aluno do curso de Engenharia Elétrica desta Instituição, com o título "Estudo e análise de adequação para edificação eficiente na UFERSA". A banca examinadora ficou assim constituída: Prof^ª. Dr^ª. Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, presidente da banca e orientadora da monografia; Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale, coorientador da monografia, Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior e Prof^ª. Ms. Maria Izabel da Silva Guerra, como membros. Foram registradas as seguintes ocorrências: o aluno apresentou o trabalho e houve arguição por parte dos membros da banca. 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, em reunião fechada, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 9,0; 9,0; 10,0 ; 10,0. Apuradas as notas, verificou-se que o aluno foi **APROVADO** com média geral 9,5 fazendo jus, portanto, ao título de Engenheiro Eletricista. Para constar, eu, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 11 de Setembro de 2018.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof^ª. Dr^ª. Fabiana Karla de O. M. Varella Guerra - UFERSA
Presidente


Prof. Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale - UFERSA
Coorientador


Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior - UFERSA
Primeiro Membro


Prof^ª. Ms. Maria Izabel da Silva Guerra - UFERSA
Segundo Membro