



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

DAYANE CYNTHIA PINTO OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PRÉDIOS
UNIVERSITÁRIOS UTILIZANDO O MÉTODO PROCEL RTQ-C**

CARAÚBAS/RN

2021

DAYANE CYNTHIA PINTO OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PRÉDIOS
UNIVERSITÁRIOS UTILIZANDO O MÉTODO PROCEL RTQ-C**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Antônio Alisson Alencar Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Max Chianca Pimentel Filho

CARAÚBAS/RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

0048d Oliveira, Dayane Cynthia Pinto.
Diagnóstico e avaliação de eficiência energética
de prédios universitários utilizando o método
PROCEL RTQ-C / Dayane Cynthia Pinto Oliveira. -
2021.
115 f. : il.

Orientador: Antônio Alisson Alencar Freitas.
Coorientador: Max Chianca Pimentel Filho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2021.

1. Eficiência energética. 2. Edificações. 3.
RTQ-C. 4. Sistemas elétricos. I. Freitas, Antônio
Alisson Alencar, orient. II. Filho, Max Chianca
Pimentel, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DAYANE CYNTHIA PINTO OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE PRÉDIOS
UNIVERSITÁRIOS UTILIZANDO O MÉTODO PROCEL RTQ-C**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharelado em
Engenharia Elétrica.

Defendida em: 16 / 11 / 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Antônio Alisson Alencar Freitas

Presidente

RODRIGO PRADO DE
MEDEIROS:06447712409

Assinado de forma digital por RODRIGO
PRADO DE MEDEIROS:06447712409
Dados: 2021.11.16 14:10:53 -03'00'

Prof. Dr. Rodrigo Prado de Medeiros

Membro Examinador

SAMARA DE CAVALCANTE
PAIVA:08424485432

Assinado de forma digital por SAMARA
DE CAVALCANTE PAIVA:08424485432
Dados: 2021.11.16 13:51:02 -03'00'

Prof^a. Dra. Sâmara de Cavalcante Paiva



Prof. Dr. Max Chianca Pimentel Filho

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Posso afirmar sem sombra de dúvidas que a parte mais difícil deste trabalho foi encontrar palavras suficientemente relevantes para expressar gratidão aos que estiveram comigo durante essa árdua e gratificante jornada. Em primeiro lugar, agradeço a minha família, por ter me proporcionado todo o suporte necessário durante a realização da graduação. Em especial, direciono todo o meu amor e gratidão a minha mãe Maria de Fátima, minha irmã Sofia, minha avó Rosa e meu avô Francisco (*in memoriam*). Essas pessoas incríveis que foram colocadas em meu caminho, formaram o meu caráter e me fizeram ser muito mais do que eu pude imaginar ser um dia. Obrigada por todo o amor, dedicação e acolhimento que foi me dado, e principalmente por sempre acreditarem em mim.

Ao meu avô Francisco (*in memoriam*), meu maior incentivador, agradeço pela matemática que foi passada, desde a tabuada até a cubagem de um terreno. Aquelas conversas despretensiosas no sofá da sala, que hoje habitam apenas as minhas memórias, me mostraram a luz quando tudo parecia escuro e me fortaleceram pra concluir cada etapa. Obrigada por tudo, vovô.

Agradeço com todo o meu coração a pessoa que estive ao meu lado em todas as sinuosas curvas desse caminho que foi a graduação. Alguém que me lembrou constantemente do que de fato sou capaz de fazer, que segurou minha mão em etapas fundamentais pra que eu conseguisse chegar até este momento. Por todo o amor e companheirismo, e pela sua visão de mim a qual eu nunca entendi, dedico essa conquista também a você. Obrigada Bruna! Sei que posso contar com você, assim como você pode contar comigo.

Aos meus companheiros de curso, que compartilharam tantos momentos memoráveis durante nossa graduação, agradeço por todo incentivo nos momentos difíceis, suporte nos trabalhos e projetos, e por cada reunião informal feita antes e depois das aulas, fosse para falar sobre a vida ou reclamar das dificuldades encontradas. Obrigada a João Marcos, Matheus, Letícia e Lorena, por proporcionarem um ambiente acadêmico acolhedor. E em especial a Breno, Jorge e Lucas, por, além de grandes amigos, terem se tornado irmãos que levarei para toda a vida.

Aos amigos com quem divido minha vida e que me dão suporte em todos os momentos, sejam eles bons ou ruins, agradeço por terem acompanhado minha evolução durante mais este percurso, minha sincera gratidão e amor a Geraldo, Roberta, Isabela, Juliana e Vitória. Em especial agradeço ao meu irmão de coração, Thiago, por todo o apoio, carinho, paciência e companheirismo nesses tantos anos e durante essa etapa tão importante.

Agradeço também aos professores que fizeram parte da minha formação, e que tanto contribuíram pra que eu pudesse chegar até aqui. Dedico um carinho e admiração em especial aos tutores que, além de competentes profissionais, foram seres humanos empáticos e solícitos. Dedico um sentimento de gratidão também a aqueles que tornaram a estrada mais árdua e que me instigaram a dedicar o melhor de mim em tudo que fiz.

Dentre todos os professores e tutores, sou grata em especial ao meu orientador Alisson Freitas, e ao meu coorientador Max Chianca. Aos senhores a minha sincera gratidão pelo incentivo e confiança para realização desta pesquisa, e de todas as oportunidades as quais ela nos proporcionou. Finalmente, agradeço também a banca examinadora, pelo aceite de avaliação deste trabalho.

A genialidade é 1% inspiração e 99%
transpiração.

Thomas Edison

RESUMO

Conhecendo-se o considerável consumo de energia elétrica e emissão de gases poluentes envolvidos na construção, manutenção e operação de edifícios, as construções sustentáveis, ou *green buildings*, surgem como alternativas para mitigação destes impactos no âmbito ambiental. A demanda de energia elétrica para operação e manutenção de edificações atingiu, no ano de 2020, cerca de 36% do valor de demanda mundial, atestando a importância do desenvolvimento de políticas de eficiência energética para estas construções. No contexto brasileiro, desenvolveu-se o programa Procel Edifica, como incentivo à eficiência energética em edificações. Deste modo, o atual trabalho tem como objetivo a realização do diagnóstico de eficiência energética dos sistemas elétricos, e total, dos prédios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido campus de Caraúbas – RN, utilizando para isto o regulamento RTQ-C do programa Procel Edifica. Promovendo-se adicionalmente um estudo de consumo e demanda das edificações. A teoria utilizada para realização da pesquisa tem como principal influência o regulamento RTQ-C e seu respectivo manual para aplicação. Na metodologia, aborda-se o procedimento do estudo de consumo e demanda aplicado aos prédios do campus universitário, e a aplicação do RTQ-C para diagnósticos de eficiência energética. Nos resultados do trabalho é possível verificar o consumo teórico e perfis de demanda das edificações, validados e não validados através das faturas de energia elétrica da universidade. Apresentam-se também as classificações de eficiência energética dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar dos prédios, e classificações totais de eficiência energética, considerando o pior caso de envoltória e as classificações encontradas para os outros sistemas. Analisa-se adicionalmente a contribuição da geração da usina de energia solar fotovoltaica do campus, para obtenção de pontuações adicionais na classificação final de eficiência energética dos prédios de salas de aulas. Finalmente, é possível concluir que a maioria dos prédios obteve índices medianos para os sistemas de iluminação, máximos para os sistemas de condicionamento de ar, e níveis totais satisfatórios de eficiência energética mesmo considerando um pior caso para envoltória e desconsiderando pontuações de bonificação. Para os blocos de salas de aula obteve-se dados confiáveis de consumo, curvas de demanda, e comparativo de eficiência total dos prédios com e sem pontuação de bonificação, verificando-se a possibilidade de obtenção do nível total de eficiência energética para estes prédios.

Palavras-chave: Eficiência energética. Edificações. RTQ-C. Sistemas elétricos.

ABSTRACT

Knowing the considerable consumption of electrical energy and emission of polluting gases involved in the construction, maintenance and operation of buildings, sustainable constructions, or green buildings, appear as alternatives for mitigating these impacts in the environmental sphere. The demand for electricity for operation and maintenance of buildings reached, in 2020, around 36% of the world demand value, attesting to the importance of developing energy efficiency policies for these buildings. In the Brazilian context, the Procel Edifica program was developed as an incentive to energy efficiency in buildings. Thus, the current work aims to carry out the diagnosis of energy efficiency of electrical systems, and total, of the buildings of the Federal Rural University of the Semi-Arid campus of Caraúbas – RN, using for this the RTQ-C regulation of the Procel Edifica program. Additionally, promoting a study of consumption and demand for buildings. The theory used to carry out the research has as its main influence the RTQ-C regulation and its respective manual for application. In the methodology, is addressed the procedure of the study of consumption and demand applied to the buildings on the university campus. In the results of the work, it is possible to verify the theoretical consumption and demand profiles of the buildings, validated and not validated through the university's electricity bills. The energy efficiency ratings of lighting and air conditioning systems in buildings are also presented, and total energy efficiency ratings, considering the worst case of envelope and the ratings found for the other systems. Is also analyzed, the contribution of the generation of the photovoltaic solar power plant on the campus to obtain additional scores in the final energy efficiency rating of classroom buildings. Finally, it is possible to conclude that most buildings obtained median ratings for lighting systems, maximum ratings for air conditioning systems, and satisfactory total levels of energy efficiency even considering a worst case for envelope and disregarding bonus scores. For the classroom blocks, validated consumption data, demand curves, and a comparison of the building's total efficiency with and without bonus points were obtained, verifying the possibility of obtaining the total level of energy efficiency for these buildings.

Key words: Energy efficiency. Buildings. RTQ-C. Electrical systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Códigos de energia para edifícios por país/estado	19
Figura 2 –	Visão área da UFERSA campus Caraúbas	21
Figura 3 –	Usina de energia solar instalada no campus UFERSA Caraúbas	21
Figura 4 –	Pilares da sustentabilidade	24
Figura 5 –	Certificações ambientais	25
Figura 6 –	Tipologias da certificação LEED	26
Figura 7 –	Categorias avaliadas pela certificação LEED	27
Figura 8 –	Composição da etiqueta PBE Edifica	31
Figura 9 –	Representação de ENCE Total.....	33
Figura 10 –	Representação de ENCE Parcial	34
Figura 11 –	Esquemático das variáveis da equação PT.....	38
Figura 12 –	Identificação das oito Zonas Bioclimáticas brasileiras	39
Figura 13 –	Especificações de transmitância térmica para nível A de envoltória	40
Figura 14 –	Especificações de cores de absorvância de superfícies para classificação A de envoltória	40
Figura 15 –	Especificações de iluminação zenital para classificação A de envoltória.....	40
Figura 16 –	Fileira de luminária com circuito acionado de forma independente conforme o pré-requisito de contribuição de luz natural.....	43
Figura 17 –	Limitações de espessura de isolamento de dutos do sistema de aquecimento ...	48
Figura 18 –	Limitações de espessura de isolamento de dutos do sistema de refrigeração	48
Figura 19 –	Consumo médio diário de um dia útil do bloco de aulas 1	54
Figura 20 –	Demanda média diária de um dia útil do bloco de aulas 1.....	54
Figura 21 –	Demanda do bloco de aulas 1 por dia da semana - período 2019.2	63
Figura 22 –	Demanda média mensal do bloco de aulas 1 - semestre 2019.2	63
Figura 23 –	Demanda do bloco de aulas 2 por dia da semana - período 2019.2	64
Figura 24 –	Demanda média mensal do bloco de aulas 2 - semestre 2019.2	64
Figura 25 –	Demanda do bloco de aulas 3 por dia da semana - período 2019.2	64
Figura 26 –	Demanda média mensal do bloco de aulas 3 - semestre 2019.2	65
Figura 27 –	Cálculo de pontuação total do RTQ-C no software Mathcad	74
Figura 28 –	Cálculo de pontuação total de eficiência do RTQ-C para o bloco de aulas 1	75
Figura 29 –	Cálculo de pontuação total de eficiência do RTQ-C para o bloco de aulas 1 considerando bonificação.....	77

Figura 30 –	Gráfico de demanda média mensal dos prédios da universidade.....	82
Figura 31 –	Gráfico de consumo médio mensal da universidade por turno de funcionamento	82
Figura 32 –	Gráfico de curvas de demanda média mensal dos blocos de aula 1, 2 e 3.....	84
Figura 33–	Gráfico de contribuição dos blocos de aula 1, 2 e 3 no consumo anual da universidade	84
Figura 34 –	Gráfico de verificação do cumprimento das condições para obtenção de bonus para os blocos de aulas 1, 2 e 3	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Combinações de métodos para obtenção de ENCE Total	34
Tabela 2	–	Conversão de nível para equivalente numérico (EqNum).....	36
Tabela 3	–	Correspondência entre nível e Pontuação Total (PT).....	38
Tabela 4	–	Relação entre cumprimento de pré-requisitos específicos e nível de eficiência correspondente	44
Tabela 5	–	Limitações de Densidade de Potência de Iluminação para cada nível de eficiência de acordo com o método da área.....	45
Tabela 6	–	Limitações de Densidade de Potência de Iluminação para cada nível de eficiência de acordo com o método das atividades	46
Tabela 7	–	Levantamento de carga detalhado para o bloco de aulas 1.....	51
Tabela 8	–	Levantamento de carga simplificado para o bloco de aulas 1	52
Tabela 9	–	Determinação de consumo médio diário do bloco de aulas 1	52
Tabela 10	–	Médias totais de consumo diário do bloco de aulas 1	53
Tabela 11	–	Determinação de demanda (kW) para cada hora: Bloco de aulas 1	53
Tabela 12	–	Determinação de consumo médio diário e mensal totais da universidade	55
Tabela 13	–	Relação de valores mensais de consumo de energia elétrica da universidade no ano de 2019	55
Tabela 14	–	Média de consumo mensal da universidade considerando contribuição da usina solar fotovoltaica.....	56
Tabela 15	–	Relação da quantidade de aulas por horário em cada dia da semana - período 2019.2.....	58
Tabela 16	–	Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Segunda-feira)	59
Tabela 17	–	Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Terça-feira).....	59
Tabela 18	–	Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Quarta-feira).....	60
Tabela 19	–	Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Quinta-feira).....	60
Tabela 20	–	Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Sexta-feira).....	61
Tabela 21	–	Consumo mensal do bloco de aulas 1 via análise por horários de aula.....	61

Tabela 22 – Demandas (kW) diária e mensal do bloco de aulas 1	62
Tabela 23 – Estimativa de contribuição dos blocos de aula 1,2 e 3 no consumo total da universidade	66
Tabela 24 – Detalhamento de áreas dos ambientes do bloco de aulas 1	68
Tabela 25 – Classificação do sistema de iluminação dos prédios por DPI limite via método da área do edifício (RTQ-C)	70
Tabela 26 – Relação das variáveis da equação de pontuação total para cada prédio	74
Tabela 27 – Análise da contribuição da usina no consumo anual dos blocos de aulas 1, 2 e 3 para verificação do critério de concessão para bonificação	77
Tabela 28 – Levantamento detalhado de carga instalada dos prédios da universidade.....	79
Tabela 29 – Levantamento simplificado de carga instalada dos prédios da universidade	81
Tabela 30 – Comparativo entre o consumo médio mensal dos blocos de aula através do método empírico e método por horários de aulas	84
Tabela 31 – Classificação total de eficiência energética por prédio sem considerar bonificação	87
Tabela 32 – Nova classificação final de eficiência energética dos blocos de aula 1, 2 e 3 ...	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Etapas para análise de consumo dos prédios da universidade.....	50
Quadro 2	–	Fluxograma de determinação de eficiência energética dos prédios usando RTQ-C.....	50
Quadro 3	–	Quadro de viabilidade de análise de funcionamento dos prédios da universidade via método alternativo.....	57
Quadro 4	–	Limites de densidade de potência de iluminação por nível de eficiência conforme as funções dos prédios da universidade.	69
Quadro 5	–	Níveis de classificação de eficiência energética considerados para cada sistema via RTQ-C.....	86
Quadro 6	–	Comparativo entre níveis de eficiência totais dos prédios de aula com e sem pontuação de bonificação.....	88

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	20
1.2. OBJETIVOS	22
1.2.1. Objetivo Geral.....	22
1.2.2. Objetivos Específicos	22
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	22
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1. VANTAGENS DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS E CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	24
2.1.1. Certificação LEED.....	26
2.1.2. AQUA.....	28
2.1.3. POCEL Edifica	30
2.2. RTQ-C	32
2.2.1. Pré-requisitos gerais para nível máximo de eficiência.....	35
2.2.2. Bonificações	35
2.2.3. Pontuação Total	36
2.2.4. Envoltória.....	38
2.2.4.1. Pré-requisitos específicos de envoltória	39
2.2.4.2. Determinação de eficiência	41
2.2.5. Sistema de iluminação	42
2.2.5.1. Pré-requisitos específicos do sistema de iluminação.....	42
2.2.5.2. Determinação de eficiência	44
2.2.6. Sistema de condicionamento de ar	47
2.2.6.1. Pré-requisitos específicos do sistema de condicionamento de ar.....	47
2.2.6.2. Determinação de eficiência	48

3. METODOLOGIA	50
3.1. ANÁLISE DE CONSUMO E DEMANDA DOS PRÉDIOS	50
3.1.1. Levantamento de carga instalada dos prédios da universidade	51
3.1.2. Estimativa de consumos e curvas de demanda	52
3.1.3. Validação de dados conforme contas de energia	55
3.1.4. Abordagem alternativa para determinação de consumos e curvas de demanda: validação por horários de aula e ocupação dos espaços.	56
3.1.5. Contribuição dos prédios no consumo total de energia elétrica da universidade	65
3.2. CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PRÉDIOS VIA RTQ-C	66
3.2.1. Cumprimento de pré-requisitos gerais para nível máximo de eficiência	66
3.2.2. Envoltória	67
3.2.3. Sistema de Iluminação	68
3.2.4. Sistema de condicionamento de ar	72
3.2.5. Classificação final sem bonificação	72
3.2.6. Classificação final com bonificação	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1. LEVANTAMENTO DE CARGA INSTALADA	79
4.2. ESTIMATIVAS DE DEMANDA E CONSUMO MENSAIS NÃO VALIDADOS DA UNIVERSIDADE	82
4.3. ESTIMATIVAS DE DEMANDA E CONTRIBUIÇÃO DOS BLOCOS DE AULA NO CONSUMO DA UNIVERSIDADE	83
4.4. CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PRÉDIOS VIA RTQ-C: SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR	85
4.5. CLASSIFICAÇÃO TOTAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PRÉDIOS VIA RTQ-C	86
4.6. CLASSIFICAÇÃO TOTAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS BLOCOS DE AULA CONSIDERANDO OBTENÇÃO DE PONTUAÇÃO BÔNUS.	87

4.7. TRABALHOS ACEITOS E PUBLICADOS.....	89
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	95
APÊNDICE A- ANÁLISES EMPÍRICAS DE CONSUMO E DEMANDA DOS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE	98
APÊNDICE B - TABELA DE DEMANDA ESTIMADA PARA OS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE.....	105
APÊNDICE C- CURVAS DE DEMANDA MÉDIA DIÁRIA ESTIMADAS PARA OS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE	106
APÊNDICE D - CONSUMO MÉDIO DIÁRIO ESTIMADO PARA OS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE.....	107
APÊNDICE E- ANÁLISE DE CONSUMO E DEMANDA DO BLOCO DE AULAS 2 VIA HORÁRIOS DE AULA	108
APÊNDICE F- ANÁLISE DE CONSUMO E DEMANDA DO BLOCO DE AULAS 3 VIA HORÁRIOS DE AULA	111
APÊNDICE G - APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO PT DO RTQ-C PARA OS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE	114
APÊNDICE H- REAPLICAÇÃO DA EQUAÇÃO PT DO RTQ-C PARA OS BLOCOS DE AULA 2 E 3 DA UNIVERSIDADE.....	118

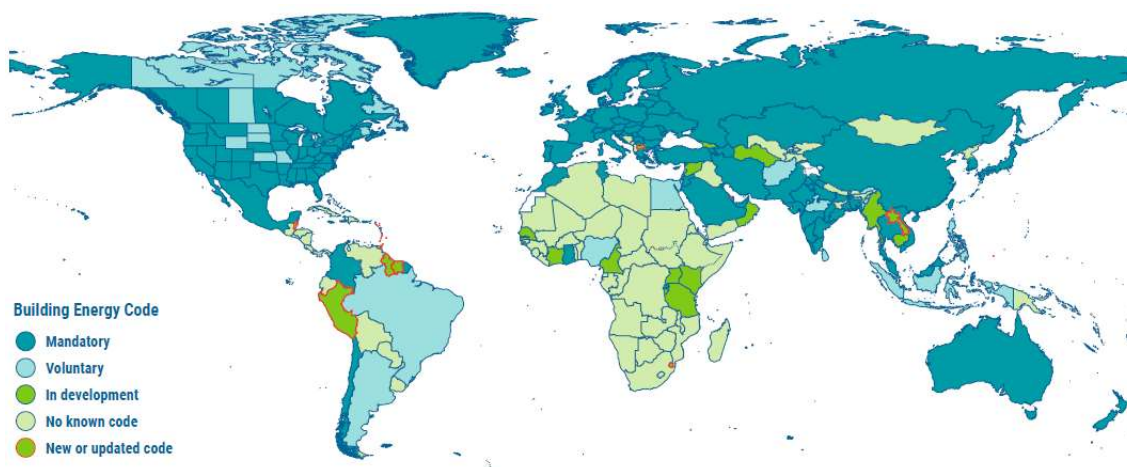
1. INTRODUÇÃO

As condições determinantes para que um edifício seja caracterizado como eficiente energeticamente estão relacionadas ao seu desempenho em termos de consumo de eletricidade. Construções consideradas eficientes energeticamente apresentam índices de maior aproveitamento no uso da eletricidade quando comparadas a outras edificações com demanda energética e condições ambientais equivalentes. O atributo de eficiência energética para edificações apresenta-se como um parâmetro indicativo do potencial da construção para obtenção de índices satisfatórios de conforto visual, térmico e sonoro. Com base na considerável influência dos edifícios para degradação do meio ambiente, destaca-se o seu potencial no âmbito de conservação dos recursos ambientais, evidenciando assim a aplicação de medidas de sustentabilidade para estas construções (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004)

A manutenção e operação de edifícios apresentou, no ano de 2015, uma demanda de uso de energia elétrica de 38% em relação ao valor global, sendo responsável ainda por índices consideravelmente altos de emissão de dióxido de carbono (CO₂), com uma parcela de 38% de contribuição nas emissões globais de CO₂ relacionadas à energia. Devido à pandemia do COVID-19, a porcentagem de demanda de energia elétrica para manutenção e operação de edifícios apresentou, no ano de 2020, uma redução de cerca de 2% em relação ao ano de 2015. Enquanto a porcentagem de redução em emissão de CO₂ chegou a 10% do valor medido em 2015, no ano de 2020. Além do cenário pandêmico, a redução de emissões relaciona-se principalmente com as medidas desenvolvidas para descarbonização do setor de energia (HAMILTON et al., 2021).

Como ferramenta incentivadora para eficiência no consumo energético das edificações e redução das emissões de CO₂, desenvolvem-se pelos países, códigos para energia em construções. Os códigos, que podem ser apresentados como políticas e regulamentações de eficiência energética, incentivam a construção de edifícios com baixo consumo de energia para operação e manutenção. Até o início do segundo semestre de 2021, cerca de 80 países apresentaram códigos de energia para edificações, considerando os de caráter obrigatório e voluntário, aplicados a nível nacional e estadual (HAMILTON et al., 2021). A Figura 1 ilustra o mapa global com suas respectivas indicações de códigos de energia para edificações.

Figura 1 - Códigos de energia para edifícios por país/estado



Fonte: Hamilton et al., 2021.

Nos últimos anos, em um cenário global, constata-se um crescente investimento em projetos de eficiência energética de edifícios, chegando a atingir um acréscimo de porcentagem de 11,4% em 2020, quando comparado ao valor investido no ano de 2019. Contudo, uma considerável parcela do aumento deste investimento encontra-se centralizada apenas em um número restrito de países. (HAMILTON et al., 2021).

De acordo com Roméro e Reis (2012), existe um potencial de até 50% na redução do consumo de energia elétrica em edifícios que são construídos considerando tecnologias para implementação de eficiência energética, em relação aos convencionais. Quanto a construções existentes que passam por atualizações ou modernizações (*retrofit*), o potencial de redução no consumo energético deve chegar a 30%.

As tecnologias de sustentabilidade em edificações, que vislumbram a redução do impacto negativo destas construções ao meio ambiente, possuem foco de aplicação em determinadas áreas envolvidas no ciclo de construção e funcionamento de um edifício. Uma construção sustentável, ou *green building*, deve possuir eficiência hídrica e energética, sustentabilidade no planejamento do local, implementação de fontes alternativas de geração de energia, conservação de materiais e recursos, e qualidade do ambiente interno (US GREEN BUILDING COUNCIL, 1998).

No contexto da implementação de programas/políticas de eficiência energética, foram desenvolvidas pelos países algumas certificações de nível internacional e nacional. Dentre as certificações internacionais mais difundidas e aplicadas, destaca-se a *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), desenvolvida pela ONG U. S. *Green Building Council* e com alcance em mais de 160 países (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2020).

Outro processo internacional de certificação é o Alta Qualidade Ambiental (AQUA-HQE), com foco na classificação da eficiência energética de edificações novas ou existentes, conforme a avaliação de 14 categorias intrínsecas ao desempenho da edificação (FERREIRA et al., 2007). Quanto às certificações nacionais, evidencia-se a existência do processo PBE Edifica de etiquetagem para edificações, criado a partir do programa Procel Edifica, desenvolvido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL). O programa possui como objetivo a disseminação e aplicação de medidas de eficiência energética em edifícios, e a etiquetagem das edificações ocorre conforme os parâmetros de regulamentações como o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) (PROCEL, 2020).

De acordo com o Balanço Energético Nacional, realizado em 2019, os setores público, comercial e residencial brasileiros somam uma porcentagem superior a 50% quanto ao consumo total de energia elétrica no país (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020). No setor comercial brasileiro, no ano de 2008, a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso, realizada pelo PROCEL, constatou que os sistemas de iluminação artificial e de condicionamento de ar foram responsáveis por cerca de 70% de todo o consumo de energia elétrica relativo às instituições públicas educacionais (ELETROBRÁS, 2008).

Considerando os dados referentes ao uso de eletricidade em instituições de ensino públicas brasileiras, caracteriza-se a seguir a estrutura de um campus universitário com parâmetros passíveis a avaliação de eficiência energética.

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

No ano de 2010, o campus Caraúbas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) foi fundado na cidade de mesmo nome, localizando-se no semi-árido potiguar. A criação do complexo universitário na cidade de Caraúbas, além do foco no desenvolvimento da região, foi idealizada na tentativa de promover a formação de profissionais nas áreas de tecnologia, engenharia e licenciatura. O campus UFERSA Caraúbas possuía, até o ano de 2021, 7 cursos de graduação, sendo ofertadas 3 licenciaturas e 4 bacharelados (UFERSA, 2021).

São ofertados os cursos de licenciatura em letras com habilitação em língua inglesa, portuguesa e libras. Enquanto para o nível de bacharelado são ofertados os cursos de engenharia elétrica, engenharia mecânica, engenharia civil, e Ciência e Tecnologia. A área de implementação do campus é superior a 300.000 m², contando até o ano de 2019 com 14 prédios

construídos e uma residência universitária externa ao campus. A Figura 2 ilustra parcialmente a visão aérea do campus universitário (UFERSA, 2021).

Figura 2 - Visão aérea da UFERSA campus Caraúbas



Fonte: UFERSA, 2021.

Ainda nas instalações do campus, ocupando uma área de cerca de 372,4 m², encontra-se uma usina fotovoltaica de energia solar, como mostrada na Figura 3. O sistema instalado possui 62,70 KWp de potência arranjados em 190 módulos de 330 Wp, e está em funcionamento desde setembro de 2018. Os inversores da usina contam com uma tensão de operação de 380 V entre as fases, sendo utilizados dois modelos de potência 25.000 W e um de 15.000 W (UFERSA, 2018).

Figura 3 - Usina de energia solar instalada no campus UFERSA Caraúbas



Fonte: UFERSA, 2021.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor a classificação da eficiência energética dos prédios da UFERSA campus Caraúbas-RN através do regulamento RTQ-C do programa Procel Edifica.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar os perfis de demanda dos prédios da universidade a partir de análises de consumo, estimando a parcela de contribuição dos prédios no consumo total do campus;
- Diagnosticar os índices de eficiência energética dos sistemas elétricos dos prédios da universidade;
- Estimar a classificação de eficiência energética total de cada prédio com e sem a contribuição de geração da usina de energia solar do campus;
- Identificar possíveis problemáticas dos prédios em relação à eficiência energética.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho apresenta-se organizado em 5 seções principais: Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia, Resultados e discussões, e Considerações finais.

Na seção referente a fundamentação teórica, serão tratados os benefícios sociais, ambientais e econômicos da obtenção de certificações de eficiência energética para edifícios, bem como o detalhamento do funcionamento de três certificações. Ainda na apresentação da teoria, será tratado o processo de avaliação de eficiência energética conforme os parâmetros da regulamentação brasileira escolhida para as análises deste trabalho.

Será tratado na seção de metodologia, o passo a passo detalhado desenvolvido para o estudo de consumo e demanda dos prédios da UFERSA campus Caraúbas. Seguido dos processos metodológicos do regulamento RTQ-C para diagnóstico dos sistemas elétricos e classificação final de eficiência energética dos prédios.

Na seção de resultados e discussões, diante da metodologia estabelecida, serão apresentados os resultados e análises acerca do estudo de consumo e demanda dos prédios do campus universitário estudado. Serão também apresentados os gráficos e tabelas resultantes de cada etapa do estudo de eficiência realizado para os sistemas elétricos dos prédios da universidade. Serão abordadas consecutivamente as classificações de eficiência total dos

prédios de salas da aula da universidade, e por fim, serão apresentados artigos adicionais desenvolvidos com base na pesquisa realizada neste trabalho. Finalmente, na seção de considerações finais, será discutido o alcance dos objetivos do trabalho diante do desenvolvimento da pesquisa ao longo das seções.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordadas teorias relacionadas às certificações de eficiência energética em edificações. Destacando de forma mais detalhada a regulamentação brasileira de classificação de eficiência energética para prédios comerciais, público e de serviço, desenvolvida pelo programa Procel Edifica.

2.1. VANTAGENS DAS CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS E CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O panorama nacional do setor de construção civil vem levantando nos últimos anos questões relacionadas à sustentabilidade. Isto porquê este setor contribui com cerca de 45% do consumo de energia elétrica gerada no país, e demanda 75% dos recursos naturais (VALOR SETORIAL, 2011). A geração de resíduos referente ao setor de construção civil alcança 50% do valor total produzido em meio urbano (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021). Assim, a construção de edifícios sustentáveis surge como alternativa para promover benefícios nos âmbitos ambientais, sociais e econômicos às construções do país, conforme o tripé da sustentabilidade ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Pilares da sustentabilidade



Fonte: Guimarães, 2019.

No contexto dos pilares da sustentabilidade, as vantagens das construções verdes englobam os três aspectos. As vantagens ambientais apresentam-se na redução de consumo de materiais com propostas de aproveitamento eficiente de recursos, na redução na emissão de gases do efeito estufa, na produção de menor quantidade de resíduos sólidos em comparação com construções convencionais, na redução do consumo de energia elétrica a partir da utilização de fontes sustentáveis, e no consumo mais eficiente dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

No parâmetro social, as vantagens das *green buildings* refletem nas condições fornecidas aos ocupantes das edificações, visto que estes ambientes devem atender requisitos como o de conforto ocupacional, conforto térmico e acústico, garantia da qualidade do ar e iluminação adequada para realização de atividades com aproveitamento máximo de iluminação natural. O investimento nestas edificações proporciona vantagens em relação à saúde e desempenho dos funcionários, garantindo uma melhor qualidade no ambiente de trabalho (UGREEN, 2019).

Em relação aos aspectos econômicos das construções sustentáveis, apesar de apresentarem maior custo de construção quando comparadas às convencionais, o retorno do investimento chega a atingir um valor de cerca de 10% maior considerando novas construções, e de cerca de quase 20% em *retrofit* de edificações (ERNST & YOUNG, 2013). Além disso, segundo o GBC Brasil (2021), edifícios sustentáveis em cidades brasileiras como São Paulo e Rio de Janeiro, constataam uma redução de 9% e 7%, respectivamente, de vacância em imóveis comerciais. O aluguel dessas edificações apresenta valorização em relação aos demais, somando também o valor de USD 16.05 em economia por m² quando levado em consideração o consumo de energia, as vantagens climáticas da construção e, conseqüentemente, de saúde dos usuários.

Com base nas vantagens das construções sustentáveis e eficiência energética de edificações, algumas ferramentas e programas de eficiência energética norteiam os processos de certificação de sustentabilidade para edificações brasileiras, como é o caso da certificação internacional LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), o processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) e o programa nacional PROCEL Edifica. A Figura 5 ilustra as representações referentes às três certificações.

Figura 5 - Certificações ambientais



A seguir, serão detalhadas cada uma das ferramentas de determinação de eficiência energética.

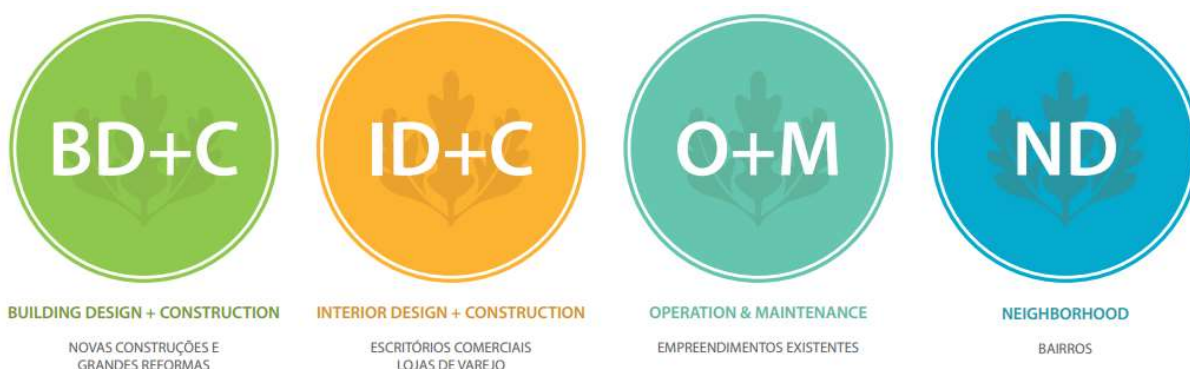
2.1.1. Certificação LEED

A certificação internacional *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) caracteriza-se como um sistema de certificação e orientação de sustentabilidade aplicado a edificações e projetos. O LEED chega a alcançar um número de países superior a 160, sendo aplicável em qualquer etapa construtiva ou de projeto de uma edificação (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

No Brasil, a certificação LEED é estabelecida e regulamentada pela organização GBC (*Green Building Council*) Brasil. A organização internacional GBC, estabelecida em 80 países, possui como foco principal a sustentabilidade de construções e da indústria, contribuindo na disseminação do movimento *green building*. Com este propósito, a organização atua em todas as fases do processo de desenvolvimento de edificações, avaliando-as conforme seus processos de certificação (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

O LEED compreende diferentes tipologias, atendendo diferentes tipos de empreendimentos. As quatro tipologias disponíveis são BD+C, para construções novas e reformas de grande porte; ID+C, para lojas e escritórios; O+M, para empreendimentos já em funcionamento; e ND, para bairros. A Figura 6 identifica as tipologias do LEED e a respectiva categoria de empreendimento a qual se aplicam (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

Figura 6 - Tipologias da certificação LEED



Fonte: GBC Brasil, 2021.

As tipologias identificadas para a certificação possuem oito categorias para avaliação, que são, conforme o GBC Brasil (2021): “Localização e Transporte, Terrenos Sustentáveis, Eficiência Hídrica, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade do Ambiente Interno,

Inovação e Processos, e Prioridade Regional”. A Figura 7 ilustra a simbologia de cada uma delas conforme a certificação.

Figura 7 - Categorias avaliadas pela certificação LEED



Fonte: GBC Brasil, 2021.

Listadas as categorias avaliadas para obtenção da certificação, evidencia-se a existência de pré-requisitos e créditos intrínsecos a cada uma delas. O cumprimento de pré-requisitos é um fator limitante para obtenção da certificação, tornando-a impossibilitada pelo não cumprimento de um dos requisitos. Enquanto os créditos equivalem a ações comprovadas que somem ao desempenho da construção, beneficiando-a com o recebimento de uma pontuação extra (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

O processo para obtenção da certificação segue, segundo GBC Brasil (2021), o seguinte fluxo: “Escolha da tipologia, Registro do projeto, Auditoria documental do projeto, Auditoria Documental da obra e Certificação”. A certificação LEED possui níveis de certificação de acordo com a pontuação obtida pela construção avaliada, o nível *certified* é obtido a partir de 40 pontos somados até 49 pontos, o *silver* é obtido com pontuações de 50 a 59, o nível *gold* é atingido com pontuações de 60 a 79, e o *platinum* é alcançado a partir de 80 pontos obtidos (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

A obtenção da certificação LEED apresenta uma série de benefícios. Dentre os econômicos destacam-se a diminuição de custos de operação, valorização do valor da edificação, e uma vacância menor do imóvel. As vantagens ambientais destacam-se no uso eficiente dos recursos naturais, menor consumo hídrico e energético, diminuição e alocação correta de resíduos sólidos, e contribuição na redução dos efeitos promovidos por mudanças no clima. No aspecto social, os benefícios vão desde melhoria na saúde e segurança dos ocupantes, conforto ocupacional e maior produtividade e bem estar dos ocupantes, até o estímulo para

demanda de fornecedores com responsabilidade social e ambiental (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

Em relação especificamente ao Brasil, os dados obtidos com a análise dos empreendimentos certificados no país apresentam valores significativos de benefícios, com 40% de redução do consumo de água pelas edificações, 30% de redução do consumo de energia elétrica, 35% menos emissão de CO₂ (dióxido de carbono) e redução de 65% na produção de resíduos. Atualmente o Brasil ocupa a posição 4 no *ranking* de países que utilizam a certificação, possuindo certificação para 706 projetos e registro para 1644 (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2021).

A aplicação do LEED para diagnóstico de eficiência energética de edificações educacionais pode ser acompanhada em Scarsi et al. (2017), onde investiga-se sob os parâmetros da certificação LEED o sistema de automação e controle de uma edificação universitária, no estado do Paraná. O prédio avaliado no estudo de caso possui iluminação, sistema de condicionadores de ar e de projeção multimídia, controlados e automatizados. Deste modo, com base nas medidas implementadas de eficiência energética, o estudo resulta no potencial de obtenção da versão 4 da certificação LEED para o prédio, apontando as adequações necessárias para isto.

Em outra vertente de aplicação, Meira et al. (2018) aborda através do LEED a análise do ciclo de vida do Museu da Língua Portuguesa, antes e após sua reconstrução, de acordo com a projeção dos futuros impactos de sua etapa de operação. A construção que almeja a certificação BD+C da versão 4 do LEED tem sua projeção de impactos ambientais da fase de operação, após reconstrução, confrontado com os dados equivalentes referentes a 2015, antes da destruição do museu por um incêndio. Com isto a conclusão do estudo apresenta um cenário com 10% de redução dos impactos de operação do museu após reconstrução utilizando parâmetros da certificação LEED.

2.1.2. AQUA

O processo de certificação AQUA-HQE (*Haute Qualité Environnementale*) refere-se a alta qualidade ambiental, e aplica-se a nível internacional. Criado no ano de 2008, a partir da certificação análoga Démarche HQETM desenvolvida na França, o programa de certificação tem como objetivo a sustentabilidade de edificações brasileiras. A aplicação nacional da certificação AQUA ocorre exclusivamente através da Fundação Vanzolini (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2021).

Apesar de seu embasamento em uma fonte estrangeira de referência, a certificação possui adaptação adequada de sua documentação de acordo com as características climáticas, culturais, normativas e regulamentadoras do Brasil. A AQUA compõe a rede internacional de certificação HQE™, fornecendo desde 2014 informações e referências técnicas ao HQE conforme sua aplicação no Brasil, e contribuindo para alinhar os parâmetros de avaliação em nível internacional da certificação (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2021).

A nível global, a certificação AQUA-HQE já se encontra aplicada a cerca de 230.000 projetos. Enquanto no Brasil, o processo alcança até março de 2021 a marca de 376 construções certificadas, correspondendo a um valor superior a 14 milhões de m² de área construída certificada no país nas etapas de projeto, construção e operação (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2021).

O processo aplicado para obtenção da certificação AQUA-HQE possui dois ciclos, o de construção e o de operação, contemplando respectivamente edificações novas e existentes. No ciclo de construção são realizadas auditorias para verificação de conformidades de projeto em três fases distintas, a de pré-projeto, a de projeto, e a fase de execução, resultando na obtenção de dois certificados para cada auditoria realizada. Já no ciclo de operação, pode haver 3 ou 4 auditorias, de acordo com ciclo em anos para realização delas, resultando na obtenção de certificados de maneira análoga ao ciclo de construção. As certificações obtidas ao final de cada auditoria são caracterizadas como sendo uma AQUA (nacional) e outra HQE (internacional) (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2021).

Os ciclos da certificação possuem avaliação norteada por três referenciais técnicos, o SGE (Sistema de Gestão do Empreendimento), o QAE (Qualidade Ambiental do Edifício) e o GAE (Gestão Ambiental do Empreendimento). Este último é apenas necessário para o ciclo de operação (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2021).

Os benefícios da certificação AQUA-HQE abrangem os empreendedores, usuários, a sociedade e o ambiente. Para empreendedores, algumas das vantagens se apresentam na comprovação de qualidade ambiental da construção, diferencial para impulsionamento de vendas e redução de despesas com operação do edifício. Para os usuários de edificações certificadas, os benefícios são comprovados na redução do consumo e economia de energia elétrica e água, bem como no conforto ocupacional e condições para maior qualidade de vida e saúde. Alguns dos benefícios sociais e ambientais comprovam-se com as reduções da utilização de recursos hídricos e de energia elétrica, da emissão de gases poluentes e da geração de resíduos sólidos (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2021).

Como exemplificação da utilização da metodologia da certificação no país, o trabalho realizado por Trento (2020) evidencia o estudo da aplicação do processo de certificação AQUA no âmbito do setor brasileiro de construção civil. A metodologia da certificação foi utilizada na avaliação das obras de um parque, localizado no estado do Rio de Janeiro. Como resultado da avaliação de fatores como utilização de água, energia e medidas de sustentabilidade, comprovou-se a aplicabilidade e flexibilidade do processo.

Já em Mello et al. (2019), realiza-se um estudo de caso no escritório verde de uma universidade brasileira. Utiliza-se a certificação AQUA-HQE como proposta de metodologia para diagnóstico do desempenho de sustentabilidade de uma construção na fase de utilização e operação. Como resultado do estudo, apontou-se a aplicabilidade da metodologia desenvolvida através da certificação para o acompanhamento da gestão sustentável da edificação.

2.1.3. PROCEL Edifica

No Brasil, o PROCEL, atuante desde o ano de 1985, estabelece parâmetros e ações para utilização eficiente dos recursos energéticos e combate ao desperdício de energia elétrica. Visando a economia de energia elétrica, foi estabelecido, a partir de 1993, para equipamentos elétricos comercializados para uso doméstico, o selo PROCEL, fornecendo ao consumidor a garantia de eficiência energética do aparelho (PROCEL, 2021).

O selo PROCEL é fornecido aos aparelhos com maiores níveis de eficiência comprovados conforme a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE, que caracteriza os equipamentos em níveis de A (maior) a E (menor) em eficiência energética. A ENCE é estabelecida através de ensaios laboratoriais para estudo e análise de funcionamento dos equipamentos em determinadas condições, realizados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO (PROCEL, 2021).

Com base no objetivo e ações da ELETROBRAS/PROCEL, foi criado no ano de 2003 a vertente deste programa aplicado às edificações, denominado de PROCEL Edifica, possuindo como foco principal de atuação o incentivo às medidas de eficiência energética em edificações e estímulo para conservação e eficiência no uso de recursos ambientais para construções novas ou existentes (PROCEL, 2006).

Com o intuito de difundir e estabelecer os objetivos de eficiência energéticas nas edificações, o PROCEL Edifica em conjunto com o INMETRO e o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, criou a etiqueta PBE Edifica, conforme ilustrado na Figura 8. A etiqueta tem como finalidade a classificação dos níveis de eficiência energética de edificações

residenciais, de serviço, comerciais e públicas, utilizando para isto os regulamentos (PBE EDIFICA, 2020):

- Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C);
- Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R)

Figura 8 - Composição da etiqueta PBE Edifica



Os valores numéricos envolvidos na aplicação da etiqueta PBE Edifica apresentam uma contribuição expressiva na economia de energia elétrica. Edificações projetadas ou adequadas de acordo com os referenciais técnicos de obtenção da etiqueta, podem apresentar valores de até 50% de economia quando construídas e 30% quando já existentes. Desde o ano de 2009 estima-se que um número de etiquetas superior a 4.500 já foram expedidas no país (PROCEL, 2020).

De maneira similar ao selo PROCEL para eletrodoméstico, existe também o selo PROCEL Edificações, cuja obtenção está condicionada as edificações detentoras dos níveis mais altos de eficiência energética na etiqueta PBE Edifica. A concessão do selo para edificações ocorre conforme as avaliações realizadas pelo RTQ-C e RTQ-R, onde avaliam-se para edificações residenciais os sistemas de aquecimento de água e envoltória, enquanto que para os demais tipos de edifícios são analisados a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar. Vale destacar que o selo PROCEL Edificações apenas pode ser emitido pela Eletrobrás quando a avaliação da edificação for determinada por um Organismo de Inspeção Acreditado – OIA de acordo com o INMETRO (PROCEL, 2021).

Segundo o PROCEL (2020), no contexto das edificações públicas brasileiras destacam-se projetos de eficiência energética voltados para atualização de equipamentos e modificação dos hábitos de uso dos aparelhos. Deste modo, a avaliação de eficiência energética desses prédios é norteadada pelos parâmetros do RTQ-C.

Em Beninca, Cardoso e Rodrigues (2018) promove-se a avaliação de uma edificação, localizada no estado do Rio Grande do Sul, sob a ótica da regulamentação RTQ-C do programa

Procel Edifica. O edifício estudado foi classificado tanto através do método prescritivo quanto pelo de simulação, avaliando-se as peculiaridades intrínsecas a cada um dos métodos. Como conclusão, evidencia-se a acessibilidade do método prescritivo como ferramenta de avaliação para profissionais que atuam em campo, em contrapartida ao de simulação, que apesar de mais preciso exige maior suporte financeiro e maior conhecimento prévio do avaliador.

Spinelli et al. (2019), por sua vez, aborda a aplicação do RTQ-C como método de avaliação de eficiência de um edifício educacional, no estado do Rio Grande do Sul. A classificação de eficiência é obtida para a edificação considerando o material isolante da envoltória, iluminação artificial e aparelhos de condicionamento de ar. De modo que, o diagnóstico de eficiência obtido indica que o nível A só poderá ser atingido conforme redução do consumo de energia pelo sistema de iluminação.

2.2. RTQ-C

O objetivo do RTQ-C consiste no estabelecimento de condições para que se torne possível a etiquetagem de eficiência energética de edifícios públicos, comerciais e de serviço. A classificação do nível de eficiência prevista pelo regulamento implica na obtenção de uma ENCE para a edificação, conforme emissão desta pelo INMETRO, com nível de eficiência variável de A (maior eficiência) à E (menor eficiência). O RTQ-C é de caráter voluntário para as construções às quais se aplica, com seu procedimento de aplicação condicionado a organizações acreditadas pelo INMETRO (NETO et al., 2017).

Para realizar a classificação de eficiência energética de edifícios comerciais, públicos e de serviços, o RTQ-C evidencia a análise de desempenho de três sistemas: Envoltória, Sistema de Iluminação e Sistema de Condicionamento de Ar. Com base na eficiência de cada um dos sistemas citados, pode-se obter a classificação do nível de eficiência do edifício através de uma equação de pontuação total, que considera também possíveis bonificações obtidas pela edificação (NETO et al., 2017).

A classificação de cada sistema avaliado no RTQ-C pode ser influenciada diretamente pelo cumprimento de pré-requisitos específicos intrínsecos à cada sistema, podendo reduzir o nível de eficiência conforme o não cumprimento destes. Já no que se refere ao edifício como um todo, existem pré-requisitos gerais que limitam o nível final de eficiência da construção, mantendo-se o nível mais alto de eficiência apenas com o cumprimento destes pré-requisitos. As bonificações também podem alterar o nível final de eficiência de uma edificação, podendo contribuir na obtenção de um nível mais alto de eficiência (NETO et al., 2017).

A classificação conforme RTQ-C pode ser obtida pela avaliação parcial ou total da construção, bem como pode-se obter etiquetas para projetos ou edifícios já construídos. A etiquetagem total resulta da aplicação de uma equação que conduz ao balanceamento entre os sistemas e as bonificações, de modo que a etiqueta parcial se associa à avaliação de eficiência dos sistemas de forma independente. As classificações dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar podem ser realizadas para o edifício completo ou para parte dele, enquanto a classificação de envoltória é obrigatória e apenas permitida para o edifício completo (NETO et al., 2017).

A ENCE total para um edifício obtida conforme avaliação do RTQ-C pode ser representada pela Figura 9. Já a ENCE parcial, obtida pela avaliação parcial dos sistemas restringe-se a três combinações: Envoltória; Envoltória + Sistema de iluminação e Envoltória + Condicionamento de Ar. A Figura 10 exemplifica a ENCE parcial.

Figura 9 - Representação de ENCE Total



Fonte: Manual RTQ-C 4.1, 2017.

Figura 10 - Representação de ENCE Parcial



Fonte: Manual RTQ-C 4.1, 2017.

Para obtenção da etiquetagem, admitem-se dois métodos da classificação dos sistemas conforme o RTQ-C do INMETRO (2013):

- Método Prescritivo;
- Método de Simulação.

O método prescritivo fornece uma metodologia simplificada para a avaliação dos sistemas, baseando-se na utilização de equações e tabelas, permitindo avaliação individual de cada sistema. Já o método de simulação fornece uma análise mais completa quando se trata da avaliação simultânea dos sistemas, permitindo a avaliação total de eficiência do edifício sem necessidade das avaliações parciais dos sistemas. A Tabela 1 fornece as possíveis combinações de aplicação dos métodos para que seja possível obtenção de uma ENCE Total (NETO, 2017).

Tabela 1 - Combinações de métodos para obtenção de ENCE Total

Envoltória	Sistema de Iluminação	Sistema de Condicionamento de Ar	Ventilação Natural
Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação
Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação	Método Simulação
Método Simulação	Método Prescritivo	Método Prescritivo	Método Simulação

Fonte: Adaptado da Tabela 2.1 do RTQ-C, 2013.

2.2.1. Pré-requisitos gerais para nível máximo de eficiência

Quando almeja-se alcançar um nível de eficiência energética para uma construção ou projeto, é necessário verificar o cumprimento de pré-requisitos associados ao nível pretendido. Assim, para o nível A de eficiência, prevê-se o cumprimento dos seguintes requisitos (NETO, 2017):

- **Circuitos Elétricos**

Este pré-requisito define que os circuitos elétricos, como os de iluminação e condicionadores de ar, presentes no prédio avaliado, devem ser devidamente separados por uso final. A devida divisão dos circuitos prevê a possibilidade de realização de medições quando se apresentar necessário, para auxiliar no diagnóstico de consumo energético da edificação (INMETRO, 2013).

- **Aquecimento de Água**

O requisito de aquecimento de água aplica-se a edificações que possuam elevada demanda de aquecimento de água, ou que possuam um percentual de utilização de água aquecida maior ou igual a 10% do consumo de energia elétrica. Para cumprimento deste pré-requisito é necessário cumprir as especificações de isolamento de tubulações, e comprovar o atendimento da demanda de água quente sendo inteiramente fornecida por aquecimento solar, aquecedores a gás, bombas de calor, ou caldeiras a gás (INMETRO, 2013).

2.2.2. Bonificações

As bonificações consistem em iniciativas/medidas de eficiência energética que contribuem para a edificação avaliada, podendo assumir um valor de 0 à 1 ponto para aplicação na equação de classificação total de eficiência. A obtenção da pontuação de bonificação é fornecida apenas conforme a devida comprovação da contribuição da medida para economia no uso de energia elétrica, a pontuação obtida pode aumentar em até um ponto a classificação final do edifício, podendo implicar numa elevação para um nível de eficiência superior. Algumas iniciativas de eficiência consideradas pelo RTQ-C do INMETRO (2013) são:

- **Sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água**

Implementação de dispositivos de temporização e sensores para equipamentos como torneiras e sanitários, e racionalização por aproveitamento de fontes alternativas de fornecimento de água (fonte pluvial). O critério a ser cumprido para obtenção da pontuação de bonificação é o de que as medidas exemplificadas proporcionem para o edifício, no mínimo 40% de economia em relação ao consumo de água (INMETRO, 2013).

- **Sistemas ou fontes renováveis de energia**

Para garantia da bonificação por este item deve-se comprovar para utilização de fonte de energia eólica ou solar uma contribuição anual de economia de no mínimo 10% no consumo de energia elétrica do prédio (INMETRO, 2013).

- **Sistemas de cogeração e inovações técnicas ou de sistemas**

Medidas como contribuição de iluminação natural devem proporcionar uma economia anual de pelo menos 30% no consumo de energia elétrica do edifício, para que se obtenha a pontuação de bonificação (INMETRO, 2013).

- **Edifícios com elevadores que atinjam nível A**

Este item prevê uma contribuição de 0,5 pontos de bonificação, devendo todos os elevadores do prédio possuírem classificação A (INMETRO, 2013).

Assim, caso não se aplique nenhum dos critérios mínimos para bonificação das medidas citadas, no caso do edifício possuir mais de uma das iniciativas de eficiência, sabendo que a pontuação de bonificação pode atingir de 0 a 1 ponto, pode-se somar contribuições parciais de cada iniciativa para tentar atingir a pontuação de bonificação total (INMETRO, 2013).

2.2.3. Pontuação Total

Os três sistemas evidenciados para avaliação pelo RTQ-C devem ser avaliados individualmente tanto para classificações parciais quanto para a classificação geral via método prescritivo. Para a aplicação na equação para classificação geral, cada sistema, depois de avaliado, deve possuir um Equivalente Numérico (EqNum) correspondente ao seu nível de eficiência encontrado, variando de 5 (maior nível) a 1 (menor nível). Deste modo, a Tabela 2 atua na conversão de nível para o equivalente numérico de cada sistema (NETO et al., 2017).

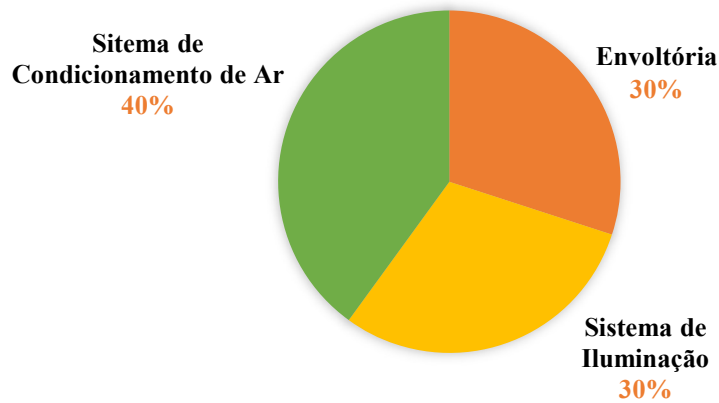
Tabela 2 - Conversão de nível para equivalente numérico (EqNum)

Nível	Eq. Num.
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: Adaptado da Tabela 2.2 do Manual RTQ-C 4.1, 2017.

A contribuição dos três sistemas para a classificação geral do edifício obedece ao sistema de pesos onde aplica-se as seguintes porcentagens do Gráfico 1:

Gráfico 1 - Sistema de pesos para Classificação Geral



Fonte: Autoria própria.

Realizadas as conversões dos equivalentes numéricos conforme a Tabela 2 e considerando os pesos estabelecidos para cada sistema, a classificação de eficiência geral de um edifício pode ser encontrada a partir da Equação 1 de pontuação total (PT), que se refere a Equação 2.1 do RTQ-C (INMETRO, 2013):

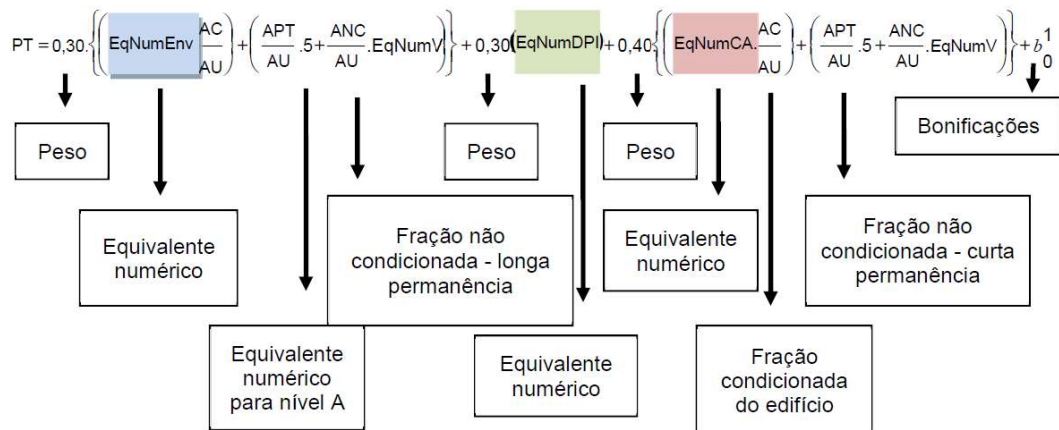
$$PT = 0,30 \left\{ \left(\text{EqNumEnv} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + 0,30(\text{EqNumDPI}) + 0,40 \left\{ \left(\text{EqNumCA} \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot \text{EqNumV} \right) \right\} + b_0^1 \quad (1)$$

com suas respectivas variáveis definidas da seguinte maneira pelo RTQ-C:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;
 EqNumDPI: equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;
 EqNumCA: equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;
 EqNumV: equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente (ver item 6.2.2);
 APT: área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;
 ANC: área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação;
 AC: área útil dos ambientes condicionados;
 AU: área útil;
 b: pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1. (INMETRO, 2013, p. 17).

O RTQ-C fornece um esquemático de resumo para Eq. 1, ilustrado a seguir pela Figura

Figura 11 - Esquemático das variáveis da equação PT



Fonte: Figura 2-2 do Manual RTQ-C 4.1, 2017.

Com base em suas variáveis definidas, a aplicação da Eq. 1 de PT deve resultar em um valor numérico. O valor numérico obtido de PT deve ser convertido em um nível de eficiência de A à E, de acordo com a Tabela 3, que fornece os intervalos numéricos correspondentes a cada nível (NETO et al., 2017).

Tabela 3 - Correspondência entre nível e Pontuação Total (PT)

Nível	Pontuação Total
A	$\geq 4,5$ a 5
B	$\geq 3,5$ a $< 4,5$
C	$\geq 2,5$ a $< 3,5$
D	$\geq 1,5$ a $< 2,5$
E	$< 1,5$

Fonte: Adaptado da Tabela 2.3 do Manual RTQ-C 4.1, 2017.

Deste modo, a classificação geral de eficiência energética de uma construção prevista pelo RTQ-C, via método prescritivo, pode ser concluída após o processo de aplicação da Eq.1 e conversão do valor obtido para um nível de eficiência correspondente. A seguir descreve-se de forma resumida o processo de avaliação aplicado para cada um dos três sistemas.

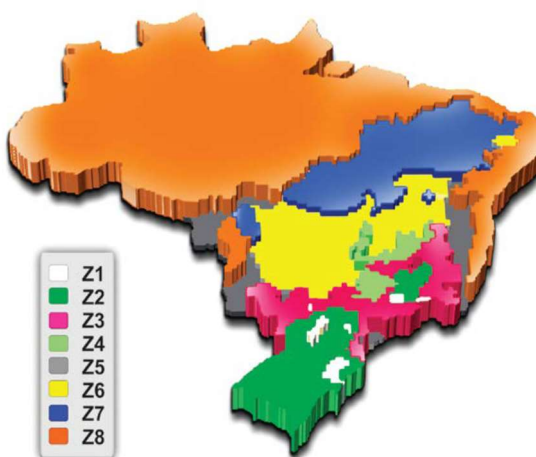
2.2.4. Envoltória

A envoltória de uma edificação define-se pela associação dos elementos construtivos constituintes da estrutura que contatam a parte externa da construção. Os elementos referentes à envoltória estabelecem no ambiente as limitações entre o meio interno e externo, desde que

construídas acima do solo. Deste modo, a composição da envoltória de uma construção estende-se a todos os elementos construtivos que estão em contato com o meio externo ao edifício (NETO et al., 2017).

O processo de avaliação de envoltória previsto pelo RTQ-C possui distinção de acordo com a zona bioclimática a qual o edifício está inserido, devido à influência da variável clima no desempenho e eficiência da edificação. Assim, o RTQ-C estabelece metodologias distintas para determinação da eficiência de envoltória para as oito zonas bioclimáticas brasileiras. A Figura 12 mostra a distribuição das zonas bioclimáticas ao longo do Brasil (NETO et al., 2014).

Figura 12 - Identificação das oito Zonas Bioclimáticas brasileiras



Fonte: Diretrizes para obtenção de classificação A, 2014.

Como exemplificação o procedimento de avaliação de envoltória demonstrado neste trabalho será referido à zona bioclimática 7, caracterizada pelo clima quente e com estações caracterizadas como seca e chuva.

2.2.4.1. Pré-requisitos específicos de envoltória

Alguns parâmetros para a análise de envoltória do RTQ-C estão sujeitos ao atendimento de pré-requisitos específicos tanto para paredes externas quanto para cobertura da edificação, assim, no que se refere à zona bioclimática 7 tem-se as seguintes determinações (NETO et al., 2017):

- **Transmitância Térmica**

A transmitância térmica (U) dos elementos construtivos, abordada pelo regulamento, caracteriza-se assumindo uma relação de inversão com a resistência térmica. As limitações

estabelecidas nos pré-requisitos específicos são fornecidas conforme a Figura 13 para as paredes externas e para a cobertura (NETO et al., 2017).

Figura 13 - Especificações de transmitância térmica para nível A de envoltória

Transmitância térmica [W/(m ² K)]	Paredes externas	Cobertura	
		(ambientes condicionados artificialmente)	(ambiente não condicionados artificialmente)
	$U \leq 1,00$	$U \leq 0,50$	$U \leq 1,00$

Fonte: Diretrizes para obtenção de classificação A, 2014.

▪ Cores e Absortância de superfícies

A absortância (α) solar de um material caracteriza-se pela sua capacidade de absorver radiação, relacionando-se diretamente com a cor do material. Um material com alta absortância transforma uma alta quantidade de radiação recebida em calor. Os limites que devem ser atendidos pelas paredes externas e cobertura são mostrados na Figura 14 (NETO et al., 2017).

Figura 14 - Especificações de cores de absortância de superfícies para classificação A de envoltória

Cores e absortância de superfícies (adimensional)	Paredes Externas	Cobertura
	$\alpha \leq 0,50$	$\alpha \leq 0,50^*$

Fonte: Diretrizes para obtenção de classificação A, 2014.

▪ Iluminação Zenital

Para calcular a iluminação zenital de uma construção estabelecem-se duas limitações, o Percentual de abertura zenital (PAZ), que se refere à fração da cobertura que se configura como abertura, e o Fator Solar (FS), que se caracteriza pela quantidade de calor adquirida em um ambiente através da incidência de radiação solar por uma abertura. Os pré-requisitos específicos de envoltória para esses limites percentuais são definidos na Figura 15, onde estabelecem-se as combinações permitidas entre PAZ e FS.

Figura 15 - Especificações de iluminação zenital para classificação A de envoltória

Iluminação Zenital (PAZ < 5%)	PAZ	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
	FS	0,87	0,67	0,52	0,3

Fonte: Diretrizes para obtenção de classificação A, 2014.

2.2.4.2. Determinação de eficiência

Para que se torne possível determinar a eficiência da envoltória de um edifício determinam-se algumas variáveis conforme os parâmetros construtivos da edificação, tais como (NETO et al., 2017):

- **Fator Forma (FF):** Caracterizado como a resultante do valor de área de envoltória em razão do volume do edifício.
- **Fator Altura (FA):** Definido pelo resultado do valor da área de projeção da cobertura do edifício em razão da área construída.
- **Percentual de abertura da fachada (PAF):** Refere-se ao valor calculado de abertura para todas as fachadas do edifício.
- **Ângulo horizontal de sombreamento (AHS) e Ângulo vertical de sombreamento (AVS):** Ambos os ângulos de sombreamento resultam da ponderação da angulação em função da área das aberturas do edifício.

O passo a passo a ser seguido para determinar o índice de consumo da envoltória (IC_{env}) na ZB estabelece-se conforme os itens de a) a g) fornecidos pelo RTQ-C:

- a) Cálculo da transmitância térmica da parede e da cobertura
- a) Cálculo da absorptância térmica de superfícies
- b) Cálculo do Fator Forma e Fator Altura
- c) Determinar o Percentual de Abertura na Fachada
- d) Determinar o Ângulo Horizontal de Sombreamento e o Ângulo Vertical de Sombreamento
- e) Calcular a área total da edificação e analisar os Limites de Fator Forma.
- f) Caso a edificação em análise possua Área de Projeção do Edifício menor ou igual que 500 m² deve-se utilizar a eq. 3.9; caso a Área de Projeção do Edifício seja maior que 500 m² deve-se utilizar a eq. 3.10.
- g) Para a Eq. 3.9, há um limite de Fator de Forma máximo de 0,60; enquanto que a Eq. 3.10 há um limite de Fator de Forma mínimo de 0,17. (NETO et al, 2014, p. 33)

Os equacionamentos citados como Eq. 3.9 e Eq. 3.10 referem-se, respectivamente, às Equações 2 e 3 determinadas a seguir (NETO et al. 2017):

$$IC_{env} = 32,62 \cdot FA - 580,03 \cdot FF - 8,59 \cdot PAF_T + 18,48 \cdot FS - 0,62 \cdot AVS - 0,47 \cdot AHS + 200 \frac{FA}{FF} - 192,5 \cdot FA \cdot FF + 70,22 \cdot FF \cdot PAF_T - 0,55 \cdot PAF_T \cdot AHS + 318,65 \quad (2)$$

$$IC_{env} = -69,48 \cdot FA + 1347,78 \cdot FF + 37,74 \cdot PAF_T + 3,03 \cdot FS - 0,13 \cdot AVS - 0,19 \cdot AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04 \cdot \frac{AHS}{(PAF_T \cdot FS)} - 306,35 \quad (3)$$

Após obtenção dos parâmetros realiza-se a conversão para o nível de eficiência conforme os índices máximos e mínimos de cada nível, para que se converta o nível encontrado no equivalente numérico de envoltória (EqNumEnv).

2.2.5. Sistema de iluminação

O sistema de iluminação artificial de uma edificação possui fundamental aplicação em ambientes de trabalho desprovidos de iluminação natural suficiente para garantir uma adequada realização das atividades. Esse sistema também atua complementarmente à iluminação natural durante as horas do dia em que essa fonte de iluminação se mostra insuficiente, com finalidade de proporcionar conforto visual aos usuários daquele ambiente (NETO et al, 2017).

Durante o processo de fornecimento de iluminação artificial nas edificações, estão em ocorrência tanto o consumo direto da energia elétrica, quanto o consumo indireto provocado pela geração da carga térmica que ocorre durante este processo. Desta maneira, garantir um sistema de iluminação artificial funcionando de modo eficiente contribui para a diminuição da geração de carga térmica, que teria como consequência a alteração do conforto térmico do ambiente, demandando um maior trabalho do sistema de condicionamento de ar (NETO et al, 2017).

Diante da considerável influência do sistema de iluminação no consumo total de energia elétrica de uma edificação, o RTQ-C propõe dois métodos de avaliação para esse sistema, o Método da área do Edifício e o Método das Atividades do Edifício. Ambos os métodos proporcionam a definição do nível de eficiência com base na análise dos limites para Densidade de Potência de Iluminação (DPI), no entanto, o nível de eficiência final do sistema de iluminação será determinado pelo cumprimento ou não dos pré-requisitos específicos deste sistema, que podem influenciar para o decaimento do nível encontrado através dos métodos citados (NETO et al, 2017).

2.2.5.1. Pré-requisitos específicos do sistema de iluminação

Para que o sistema de iluminação de uma edificação qualifique-se para o nível de eficiência pretendido e previamente estabelecido pela aplicação de algum dos métodos de determinação de eficiência do sistema, deve ser verificado o cumprimento de três pré-requisitos específicos estabelecidos pelo RTQ-C do INMETRO (2013):

▪ Divisão de circuitos de iluminação

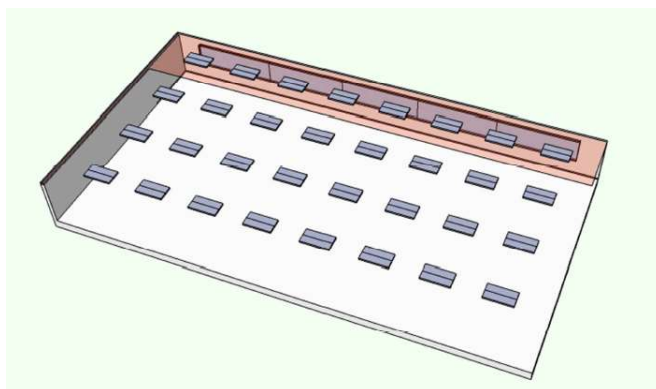
A avaliação referente à divisão dos circuitos de iluminação da edificação estabelece que deve haver no mínimo um dispositivo para acionamento manual da iluminação interna, para todo ambiente caracterizado como fechado (delimitado do chão ao teto por paredes/divisórias). Também é previsto que o sistema de iluminação a ser acionado pelo dispositivo deve ser completamente visualizado do ponto de acionamento, devendo o dispositivo de acionamento possuir fácil localização e acesso (INMETRO, 2013).

O controle manual para iluminação do ambiente pode ser feito por um único dispositivo em ambientes com área menor que 250 m². Para áreas superiores à 250 m² e até 1000 m² a quantidade de dispositivos de controle da iluminação deve ser dividida entre parcelas da área total, existindo um dispositivo para controle de parcelas com no máximo 250 m². Já para ambientes com área superior à 1000 m², o sistema de iluminação deve ser controlado em parcelas de área de no máximo 1000 m² cada (INMETRO, 2013).

▪ Contribuição da luz natural

O requisito de contribuição de luz natural estabelece que ambientes com janelas e aberturas para o meio externo, ou para áreas onde há considerável incidência de luz natural, devem possuir dispositivos de acionamento independente para as luminárias localizadas em paralelo com as aberturas. Assim, as luminárias paralelas às janelas/aberturas devem ser controladas independentes às demais, não implicando que estejam conectadas entre si, mas garantindo que elas possam ser acionadas de maneira separada das demais. A Figura 16 ilustra a região que deve possuir acionamento independente (INMETRO, 2013).

Figura 16 - Fileira de luminária com circuito acionado de forma independente conforme o pré-requisito de contribuição de luz natural



Fonte: Manual RTQ-C 4.1, 2017.

▪ Desligamento automático do sistema de iluminação

O estabelecimento do critério de desligamento automático aplica-se para ambientes com área superior a 250 m², devendo existir para eles um dispositivo que controle de modo automático o desligamento dos circuitos de iluminação. O funcionamento do dispositivo de automação deve obedecer a uma das três seguintes opções: 1 – Sistema que funcione por meio de programação de desligamento automático do sistema em horários preestabelecidos. 2 – Desligamento através de sensor de presença condicionado à interrupção do fornecimento de iluminação após 30 minutos da saída de todos os ocupantes da área. 3 – Sistema que indique através de alarme que o ambiente não possui mais ocupantes (INMETRO, 2013).

Determinados os três pré-requisitos, o nível de eficiência do sistema de iluminação é condicionado ao cumprimento dos pré-requisitos, conforme mostra a relação da Tabela 4.

Tabela 4 - Relação entre cumprimento de pré-requisitos específicos e nível de eficiência correspondente

Nível	Pré-requisitos Específicos		
	Divisão de circuitos	Contribuição da luz natural	Desligamento automático do sistema de iluminação
A	Sim	Sim	Sim
B	Sim	Sim	
C	Sim		

Fonte: Adaptado do Quadro 4.1 do Manual RTQ-C 4.1 (2016).

2.2.5.2. Determinação de eficiência

Para avaliação de eficiência do sistema de iluminação, o RTQ-C do INMETRO (2013) estabelece os métodos da área e das atividades do edifício, detalhados a seguir:

▪ Método da Área

O método da área tem como fundamentação a avaliação dos limites de DPI da edificação, obtidos através da relação entre potência de iluminação do edifício e a sua área. Este método apenas deverá ser utilizado em construções as quais possuam até três atividades principais, ou em caso de a área utilizada por uma atividade corresponder a mais de 30% do edifício. Atividades secundárias das edificações são desconsideradas na aplicação do método das áreas, e suas respectivas áreas são contabilizadas como parte da área da atividade principal as quais elas se referem (NETO et al., 2014).

Este método apenas está previsto para classificação do nível do edifício como um todo, não podendo ser aplicado para classificações parciais. Assim, avalia-se o edifício completo por uma única DPI referente a sua atividade principal (quando correspondente a 30% da área total), ou para edifícios com até três atividades principais, avalia-se o sistema de cada área referente a aquela atividade e os valores são somados para determinar o nível total de eficiência. A Tabela 5 destaca as limitações de DPI para cada nível de eficiência de acordo com sua função (NETO et al., 2017).

Tabela 5 - Limitações de Densidade de Potência de Iluminação para cada nível de eficiência de acordo com o método da área.

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de Esportes	8,4	9,7	10,9	12,2

Fonte: Tabela 4.1 do RTQ-C, 2013.

▪ Método das Atividades

O método das atividades da edificação abrange os edifícios os quais o método da área não é aplicável, apresentando um maior grau de complexidade em relação ao anterior por avaliar individualmente a área correspondente a cada atividade realizada no edifício. Neste método também são verificados os limites K (índice de ambiente) e RCR (*Room Cavity Ratio*) do ambiente, que possibilitam ao ambiente um aumento de 20% na sua DPI quando sua atividade possuir um K menor, ou um RCR maior, que os valores apresentados na Tabela 6. A

Tabela 6 estabelece os limites de DPI para cada nível de eficiência de acordo com a atividade realizada (NETO et al., 2017).

Tabela 6 - Limitações de Densidade de Potência de Iluminação para cada nível de eficiência de acordo com o método das atividades

Ambientes/Atividades	Limite do Ambiente		DPI _L Nível A (W/m²)	DPI _L Nível B (W/m²)	DPI _L Nível C (W/m²)	DPI _L Nível D (W/m²)
	K	RCR				
Armazém, Atacado						
Material pequeno/leve	0,80	6	10,20	12,4	14,28	16,32
Material médio/volumoso	1,20	4	5,00	6,00	7,0	8,00
Átrio – por metro de altura						
Até 12,20 m de altura	-	-	0,301	0,36¹	0,42¹	0,48¹
Acima de 12,20 m de altura	-	-	0,201	0,24	0,28¹	0,32¹
Auditórios e Anfiteatros						
Auditório	0,80	6	8,50	10,20	11,90	13,60
Centro de Convenções	1,20	4	8,80	10,56	12,32	14,08
Cinema	1,20	4	5,00	6,00	7,00	8,00
Teatro	0,60	8	26,20	31,44	36,68	41,92
Banco/Escritório – Área de atividades bancárias	0,80	6	14,90	17,88	20,86	23,84
Banheiros	0,60	8	5,00	6,00	7,00	8,00
Biblioteca						
Área de arquivamento	1,20	4	7,80	9,36	10,92	12,48
Área de leitura	1,20	4	10,00	12,00	14,00	16,00
Área de estantes	1,20	4	18,40	22,08	25,76	29,44
Casa de Máquinas	0,80	6	6,00	7,20	8,40	9,60
Centro de Convenções – Espaço de exposições	1,20	6	15,60	18,72	21,84	24,96
Circulação	<2,4m largura		7,10	8,52	9,94	11,36
Comércio						
Área de vendas	0,80	6	18,10	21,72	25,34	28,96
Pátio de área comercial	1,20	4	11,80	14,6	16,52	18,88
Provador	0,60	8	10,20	12,24	14,28	16,32
Cozinhas	0,80	6	10,70	12,84	14,98	17,12
Depósitos	0,80	6	5,00	6,00	7,0	8,00

Dormitórios - Alojamentos	0,60	8	4,10	4,92	5,74	6,56
Escadas	0,60	10	7,40	8,88	10,36	11,84
Escritório	0,60	8	11,90	14,28	16,66	19,04
Escritório – Planta livre	1,20	4	10,50	12,60	14,70	16,80

Fonte: Tabela 4.2 do RTQ-C, 2013.

Escolhido o método adequado de avaliação do sistema de iluminação, o nível de eficiência é encontrado, ajustado com a análise dos pré-requisitos, e convertido no equivalente numérico do sistema de iluminação (EqNumDPI).

2.2.6. Sistema de condicionamento de ar

O sistema de condicionamento de ar das edificações refere-se às funções de refrigeração, ventilação e aquecimento da edificação, e seus respectivos aparelhos. Este sistema deve ser avaliado pelo RTQ-C inicialmente quanto ao atendimento do pré-requisito específico de espessura dos dutos de isolamento, e posteriormente de acordo com a classificação ou não do aparelho de refrigeração/aquecimento pelo PBE/INMETRO. O procedimento para determinar a eficiência desse sistema ocorre de maneira diferenciada para aparelhos previamente etiquetados pelo INMETRO, e para os não regulamentados (NETO et al., 2017).

2.2.6.1. Pré-requisitos específicos do sistema de condicionamento de ar

Os pré-requisitos específicos deste sistema apenas possuem restrição ao nível A de eficiência, de modo que se não forem atendidos, o sistema de condicionamento de ar obrigatoriamente deve corresponder a um nível inferior (NETO et al., 2017). Os pré-requisitos específicos são:

- **Isolamento térmico para dutos de ar**

Para cumprimento deste requisito deve-se respeitar os valores de espessura mínima dos componentes isolantes do sistema de refrigeração ou aquecimento. A Figura 17 estabelece as espessuras a serem cumpridas para isolamento dos dutos num sistema de aquecimento, enquanto a Figura 18 estabelece as mesmas limitações para um sistema de refrigeração (NETO et al., 2017).

Figura 17 - Limitações de espessura de isolamento de dutos do sistema de aquecimento

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura de ensaio (°C)	< 25	25 a <40	40 a <100	100 a <200	≥ 200
$T \geq 177$	0.046 a 0.049	121	6.4	7.6	7.6	10.2	10.2
$122 < T < 177$	0.042 a 0.046	93	3.8	6.4	7.6	7.6	7.6
$94 < T < 121$	0.039 a 0.043	66	3.8	3.8	5.1	5.1	5.1
$61 < T < 93$	0.036 a 0.042	52	2.5	2.5	2.5	3.8	3.8
$41 < T < 60$	0.032 a 0.040	38	1.3	1.3	2.5	2.5	2.5

Fonte: Tabela 5.1 do RTQ-C, 2013.

Figura 18 - Limitações de espessura de isolamento de dutos do sistema de refrigeração

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura de 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	4.0

Fonte: Tabela 5.2 do RTQ-C, 2013.

▪ Condicionamento de ar por aquecimento artificial

Aplicado apenas quando na existência deste tipo de sistema na edificação, este requisito limita algumas características que devem ser atendidas, como estabelece o RTQ-C:

- sistemas com bombas de calor, independente da sua capacidade, devem apresentar um COP para aquecimento maior ou igual a 3,0 W/W através do método definido na norma AHRI 340/360;
- sistemas unitários de condicionamento de ar com ciclo reverso devem apresentar um COP para aquecimento maior ou igual a 3,0 W/W através do método definido na norma AHRI 340/360;
- caldeiras a gás devem atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na Tabela 5.3. (INMETRO, 2013, p. 51)

A Tabela 5.3 citada pode ser encontrada no RTQ-C do INMETRO (2013), junto com informações mais detalhadas deste pré-requisito.

2.2.6.2. Determinação de eficiência

A determinação da eficiência do sistema de condicionamento de ar pode ocorrer de maneiras distintas, de acordo com a existência da classificação prévia de eficiência dos aparelhos pelo INMETRO, como detalhado a seguir:

▪ **Sistemas regulamentados pelo INMETRO**

Para determinação da eficiência energética de sistemas de condicionamento de ar composto por aparelhos classificados pelo INMETRO, o próprio nível de eficiência da etiqueta regulamentadora do aparelho corresponderá ao nível de eficiência energética do sistema. A etiquetagem dos aparelhos de condicionamento de ar aplica-se aos modelos Janela e *Split*, os índices indicados na etiqueta são estabelecidos através de testes realizados em laboratório sob condições específicas de funcionamento, resultando no consumo mensal médio do aparelho e no seu nível de eficiência energética (NETO et al., 2017).

No caso de haver um sistema com mais de um aparelho e estes possuírem diferentes níveis de eficiência, deve-se ponderar a eficiência de cada unidade de condicionamento de ar em relação a potência total do sistema, e em seguida multiplicar os índices encontrados pelo equivalente numérico do nível de eficiência de cada unidade, assim, a soma dos valores encontrados equivalerá ao nível final do sistema. Caso o sistema possua aparelhos classificados pelo INMETRO com o mesmo nível de eficiência, sua classificação conforme o RTQ-C equivalerá a este nível (NETO et al., 2017).

▪ **Sistemas não regulamentados pelo INMETRO**

Para determinação de eficiência de aparelhos que não possuem ENCE são estabelecidos através de uma série de tabelas, os requisitos mínimos de eficiência para diferentes tipos de condicionadores de ar. As tabelas mencionadas são identificadas a seguir conforme as especificações do INMETRO (2013) para obtenção do nível A:

os condicionadores de ar devem atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na Tabela 5.4; os condicionadores de ar tipo VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) devem atender aos requisitos mínimos de eficiência das Tabelas 5.4A e 5.4B; os resfriadores de líquido devem atender aos requisitos mínimos de eficiência da Tabela 5.5; os condensadores e torres de arrefecimento devem atender aos requisitos mínimos de eficiência da Tabela 5.6 e todo o sistema de condicionamento de ar deve respeitar os requisitos estabelecidos nos itens 5.4.1 a 5.4.7, quando aplicável. (INMETRO, 2013, p.53)

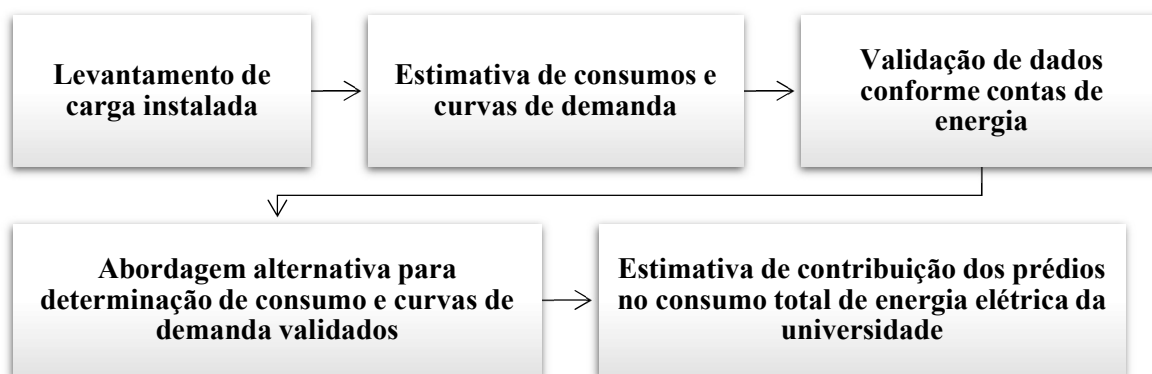
As tabelas identificadas podem ser consultadas no RTQ-C do INMETRO (2013). Os requisitos avaliados em cada uma delas referem-se ao cálculo de carga térmica, controle de temperatura por zona, sistema automático de desligamento, isolamento de zonas, dimensionamento e controle dos sistemas hidráulicos e de ventilação, e equipamentos de rejeição de calor (NETO et al., 2014).

Após a avaliação dos pré-requisitos específicos do sistema de condicionamento e determinação do nível de eficiência do sistema, o nível determinado deverá ser convertido no equivalente numérico de condicionamento de ar (EqNumCA).

3. METODOLOGIA

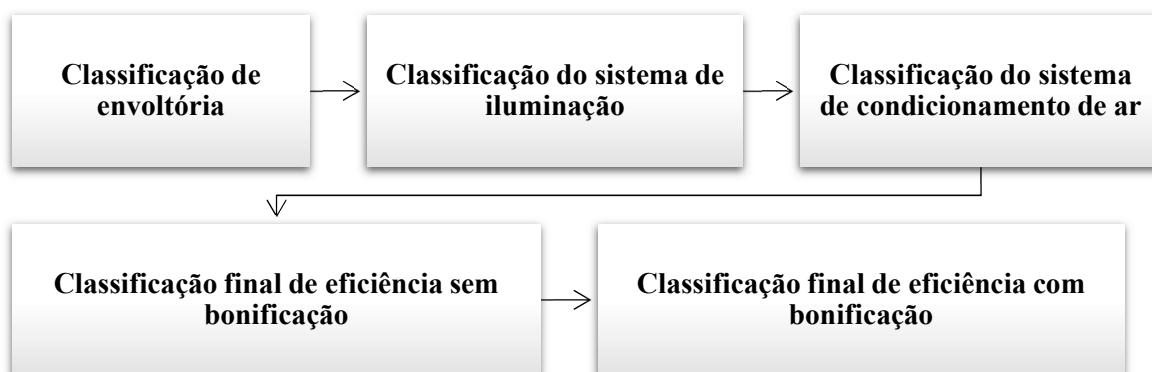
A metodologia deste trabalho subdivide-se em dois processos principais: O estudo de consumo e demanda dos prédios da universidade, e a avaliação de eficiência de seus sistemas elétricos conforme o RTQ-C. O processo caracterizado pelo estudo de consumo e demanda dos prédios apresenta-se em 5 etapas, conforme indica o Quadro 1. Enquanto as etapas seguidas para avaliação de eficiência energética dos sistemas elétricos conforme o RTQ-C são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 1 - Etapas para análise de consumo dos prédios da universidade



Fonte: Autoria própria.

Quadro 2 - Fluxograma de determinação de eficiência energética dos prédios usando o RTQ-C



Fonte: Autoria própria.

Todas as etapas dos processos metodológicos aplicados apresentadas nos quadros 1 e 2 serão detalhadas a seguir dentro de seus respectivos tópicos.

3.1. ANÁLISE DE CONSUMO E DEMANDA DOS PRÉDIOS

A etapa inicial do trabalho desenvolveu-se a partir do estudo de funcionamento dos principais prédios da universidade, verificando a carga dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar instaladas em cada um dos prédios.

3.1.1. Levantamento de carga instalada dos prédios da universidade

O levantamento de carga instalada realizado foi executado com o auxílio de uma câmera fotográfica semiprofissional, utilizando o alcance visual das lentes para verificar os valores de potência das lâmpadas e dados de eficiência e potência dos aparelhos de condicionamento de ar. Foram coletados os dados de potência de todos os equipamentos dos sistemas apontados para 15 prédios da universidade: Bloco de aulas 1, Bloco de aulas 2, Bloco de aulas 3, Bloco de professores 1, Bloco de professores 2, Guarita, Bloco de laboratórios 1, Bloco de laboratórios 2, Setor de transporte, Bloco administrativo, Centro de convivência, Almoxarifado, Biblioteca, Restaurante universitário e Residência universitária.

Para que o recolhimento dos dados necessários se tornasse possível solicitou-se junto a universidade a permissão de acesso aos ambientes dos prédios de acesso restrito. Uma vez autorizada a coleta das informações, todos os pavimentos e salas de todos os prédios foram acessados fisicamente durante os meses de agosto e setembro de 2019. No processo detalhado de levantamento da carga instalada foram considerados equipamentos elétricos de copas (quando existentes), computadores, iluminação artificial e aparelhos de condicionamento de ar.

No entanto, partiu-se da consideração que no mínimo 70% da carga instalada dos prédios correspondia aos aparelhos iluminação e condicionamento, resumindo as análises considerando apenas esses dois sistemas. Todas as tabelas simplificadas construídas consideraram apenas os valores dos dois sistemas, apenas havendo exceção para o prédio do restaurante universitário, o qual também se considerou o valor de potência das câmaras frias.

Para fins de exemplificação, a partir deste ponto todas as etapas da metodologia serão apresentadas conforme sua aplicação no Bloco de aulas 1. O levantamento detalhado de carga instalada realizado foi registrado na Tabela 7, sendo adaptado em seguida para a forma simplificada mostrada na Tabela 8, na qual os valores de potência de iluminação e de condicionamento de ar foram catalogados separadamente.

Tabela 7 – Levantamento de carga detalhado para o bloco de aulas 1

BLOCO DE AULAS 1				
	Equipamento	Quantidade	Watts/ ponto	Potência (W)
1	Lâmpada fluorescente	56	40	2240
2	Lâmpada fluorescente	247	36	8892
3	Ar-condicionado 36000 btu	20	3290	65800
4	Lâmpada fluorescente compacta	5	15	75
TOTAL				77007

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 -Levantamento de carga simplificado para o bloco de aulas 1

BLOCO DE AULAS 1			
	Sistema	Quantidade	Potência (W)
1	Iluminação	308	11207
2	Condicionadores de ar	20	65800
TOTAL			77007

Fonte: Autoria própria.

Ambas as tabelas foram construídas para todos os prédios analisados a partir dos dados coletados, onde serão posteriormente apresentadas nos resultados deste trabalho.

3.1.2. Estimativa de consumos e curvas de demanda

Uma vez determinadas as potências totais de iluminação e de condicionamento de ar para todos os prédios, desenvolveu-se uma análise de consumo para cada edifício. Para tentativa de determinação dos valores de consumo dos prédios foram considerados os turnos de funcionamento de cada construção: manhã, tarde e noite. Coletados os turnos, foram aplicados fatores de carga arbitrários para cada horário de funcionamento, considerando o conhecimento empírico do funcionamento dos prédios. Os fatores de carga atribuídos empiricamente foram desenvolvidos individualmente para cada prédio devido à inexistência de faturas individuais de energia elétrica referentes à cada edifício, que eventualmente indicariam estes fatores.

A Tabela 9 consiste no detalhamento de funcionamento do bloco de aulas 1, onde encontram-se os horários de funcionamento, os fatores de carga estabelecidos para iluminação e condicionamento de ar, e as potências dos dois sistemas obtidas através do levantamento de carga instalada. A análise desenvolvida considera uma estimativa média de consumo diário do prédio.

Tabela 9 - Determinação de consumo médio diário do bloco de aulas 1

(a) BLOCO DE AULAS 1							
Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,7	7.844,90	31,38	0,7	46.060,00	184,24
11:00 - 13:30	2,5	0,2	2.241,40	5,60	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,7	7.844,90	35,30	0,7	46.060,00	207,27
18:00 - 22:30	4,5	0,9	10.086,30	45,39	0,8	52.640,00	236,88
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				117,67	628,39		

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados de consumo de energia obtidos para cada sistema, foram estimados os dados médios totais de consumo em cada turno e a média diária total de consumo do prédio, como demonstrado na Tabela 10. Vale ressaltar que os valores estimados fazem referência aos dias úteis.

Tabela 10 - Médias totais de consumo diário do bloco de aulas 1

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	215,62
11:00 - 13:30	5,60
13:30 - 18:00	242,57
18:00 - 22:30	282,27
22:30 - 23:59	-
Total (kWh/dia)	746,06

Fonte: Autoria própria.

As análises realizadas foram replicadas para o restante dos prédios da universidade analogamente aos procedimentos aplicados ao bloco de aulas 1 (apêndice A). Diante dos valores obtidos na estimativa de consumo, foram encontrados os valores de potência demandados para cada horário, como resultado do produto entre o valor médio de consumo e a quantidade de horas de cada período. A Tabela 11 apresenta os valores médios demandados para cada horário de um dia útil de funcionamento do bloco de aulas 1. Os dados de demanda para todos os outros prédios foram igualmente obtidos (apêndice B).

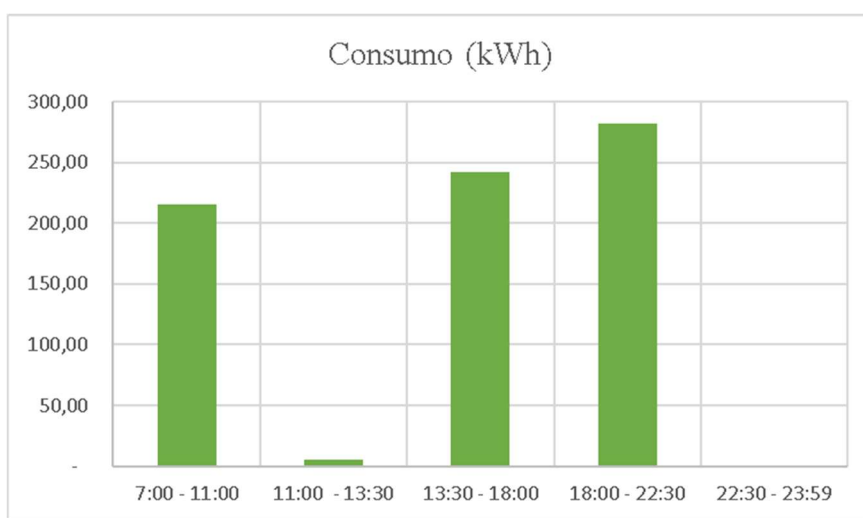
Tabela 11 - Determinação de demanda (kW) para cada hora: Bloco de aulas 1

Período	Demanda (kW)
00:00	-
01:00	-
02:00	-
03:00	-
04:00	-
05:00	-
06:00	-
07:00	53,90
08:00	53,90
09:00	53,90
10:00	53,90
11:00	2,24
12:00	2,24
13:00	28,07
14:00	53,90
15:00	53,90
16:00	53,90
17:00	53,90
18:00	62,73
19:00	62,73
20:00	62,73
21:00	62,73
22:00	31,36
23:00	-

Fonte: Autoria própria.

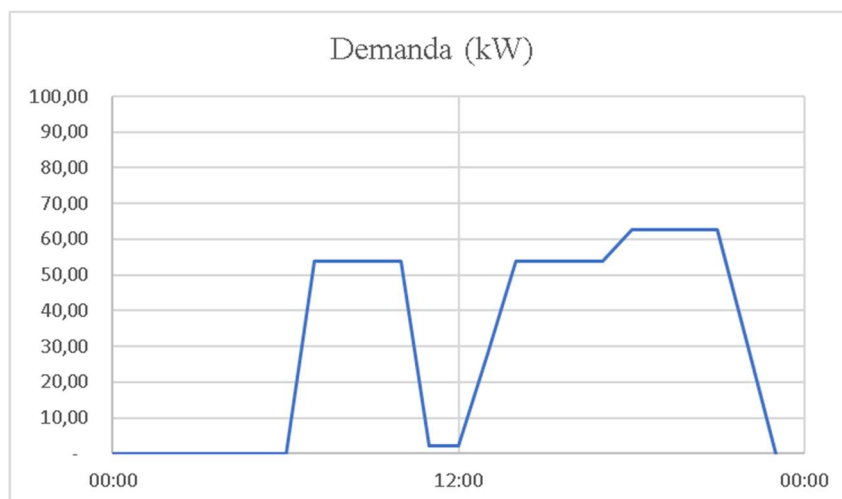
A etapa seguinte da análise consistiu na elaboração de gráficos de demanda e consumo médio diário para o prédio, apresentados nas Figuras 19 e 20. Todos os procedimentos apresentados até este ponto foram aplicados a 14 das 15 construções estudadas, sendo excluído apenas o prédio de residência universitária, cuja conta de energia elétrica não se encontrou vinculada a da universidade e, portanto, se desclassifica para as análises aplicadas neste trabalho.

Figura 19 - Consumo médio diário de um dia útil do bloco de aulas 1



Fonte: Autoria própria.

Figura 20 - Demanda média diária de um dia útil do bloco de aulas 1



Fonte: Autoria própria.

Determinou-se para todos os prédios os diagnósticos de consumo e demanda de maneira análoga a realizada no bloco 1, com seus respectivos gráficos (apêndices C e D). As informações foram unificadas com o propósito de obter o valor médio mensal de consumo da universidade. A Tabela 12 apresenta os valores de consumo diário totais da universidade por

turno de funcionamento, obtidos com a soma da contribuição de todos os prédios, bem como os valores convertidos pra consumo mensal considerando 22 dias úteis por mês.

Tabela 12 - Determinação de consumo médio diário e mensal totais da universidade

Período	Consumo (kWh/dia)	Consumo (kWh/mês)
7:00 - 11:00	1.774,63	39.041,91
11:00 - 13:30	446,97	9.833,40
13:30 - 18:00	2.111,33	46.449,29
18:00 - 22:30	2.137,48	47.024,54
22:30 - 23:59	348,30	7.662,64
Total	6.818,72	150.011,77

Fonte: Autoria própria.

Finalizado o estudo de consumo total da universidade, inicia-se a tentativa de validação dos dados para dar continuidade às análises previstas.

3.1.3. Validação de dados conforme contas de energia

Para garantir a confiabilidade dos dados obtidos no estudo de consumo e demanda da universidade, desenvolveu-se o comparativo entre os valores obtidos e os valores apontados nas faturas de energia elétrica da universidade. O acesso aos documentos necessários foi cedido pela universidade, com a disponibilização de todas as faturas de energia elétrica do ano de 2019. Todos os valores de consumo mensais de energia elétrica foram relacionados junto aos seus meses de referência, e permitiram o cálculo da média de consumo mensal da universidade, onde os valores dos 12 meses foram somados e divididos pelo número de meses. A Tabela 13 ilustra os dados obtidos do consumo real da universidade segundo as faturas de energia elétrica.

Tabela 13 - Relação de valores mensais de consumo de energia elétrica da universidade no ano de 2019

UFERSA Contas	Consumo (kWh)
jan/19	29.151,57
fev/19	64.946,49
mar/19	52.738,98
abr/19	33.905
mai/19	59.321,01
jun/19	50.733,69
jul/19	53.713,17
ago/19	47.198,55
set/19	29.320,83
out/19	55.886,25
nov/19	56.851,62
dez/19	56.045,66
Média (kWh/mês)	49.151,07

Fonte: Autoria própria.

Antes da realização do comparativo, considerou-se outro fator de impacto do consumo real de energia elétrica da universidade, a geração de energia elétrica através da usina solar fotovoltaica presente no campus. A geração da usina fornece energia elétrica durante o dia para universidade, não sendo contabilizada pela concessionária nas faturas de energia. Desta maneira, o consumo real da universidade deve considerar o valor médio mensal das faturas somado ao valor médio de geração mensal da usina. O valor médio mensal de geração da usina no ano de 2019, de acordo com o portal *SunnyPortal* (2019) de monitoramento, foi de 9.088,00 kWh/mês. A Tabela 14 apresenta a junção dos dados discutidos na obtenção do valor de consumo médio mensal da universidade.

Tabela 14 - Média de consumo mensal da universidade considerando contribuição da usina solar fotovoltaica

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Média (kWh/mês)	49.151,07
Média da Usina (kWh/mês)	9.088,00
Média Total (kWh/mês)	58.239,06

Fonte: Autoria própria.

Para validação dos dados, seria necessário que a média real de consumo encontrado através das faturas de energia e da geração da usina fosse consideravelmente próxima do valor teórico. Porém, o valor calculado no subtópico 3.1.2 para consumo médio mensal da universidade foi de 150.011,77 kWh/mês, se apresentando quase três vezes maior que o real. A diferença registrada para o valor teórico relaciona-se com a escolha dos fatores de carga utilizados, o que se torna ainda mais problemático quando considerado que a análise realizada considera uma carga instalada inferior a carga real. Deste modo, diante da inconsistência encontrada foi abordada uma metodologia alternativa para diagnosticar o perfil de consumo dos prédios da universidade.

3.1.4. Abordagem alternativa para determinação de consumos e curvas de demanda: validação por horários de aula e ocupação dos espaços.

Visando a obtenção de dados consistentes, optou-se por uma análise alternativa de determinação do consumo e estudo de funcionamento dos blocos. Neste processo foram coletadas junto a universidade informações de horários de aulas e turnos de funcionamento, no entanto, avaliando as informações coletadas determinou-se que as análises de alguns dos prédios ainda apresentariam inconsistência com a realidade devido a lacunas nas informações

obtidas. Deste modo, construiu-se o Quadro 3, indicando as informações obtidas de cada prédio e a viabilidade de avaliar seu funcionamento.

Quadro 3 - Quadro de viabilidade de análise de funcionamento dos prédios da universidade via método alternativo

PRÉDIO	INFORMAÇÕES COLETADAS DE FUNCIONAMENTO	VIABILIDADE DA ANÁLISE
Bloco De Aulas 1	Horários de todas as atividades realizadas no prédio: Aulas de todos os cursos e reservas.	Análise viável: Informações suficientes.
Bloco De Aulas 2	Horários de todas as atividades realizadas no prédio: Aulas de todos os cursos e reservas.	Análise viável: Informações suficientes.
Bloco De Aulas 3	Horários de todas as atividades realizadas no prédio: Aulas de todos os cursos e reservas.	Análise viável: Informações suficientes.
Bloco De Professores 1	Apenas turnos de funcionamento e horários de utilização do auditório.	Análise inviável: Informações insuficientes de horários de utilização das salas, não sendo possível avaliar o nível de utilização dos equipamentos.
Bloco De Professores 2	Apenas turnos de funcionamento e horários de utilização do auditório.	Análise inviável: Informações insuficientes de horários de utilização das salas, não sendo possível avaliar o nível de utilização dos equipamentos.
Guarita	Apenas turnos de funcionamento.	Análise viável
Bloco De Laboratórios 1	Apenas horários de aula disponíveis	Análise inviável: Informações insuficientes de reservas de laboratórios e salas para projetos.
Bloco De Laboratórios 2	Apenas horários de aula disponíveis	Análise inviável: Informações insuficientes de reservas de laboratórios e salas para projetos.
Setor De Transporte	Turnos de funcionamento	Análise inviável: Informações insuficientes de horários de utilização das salas, não sendo possível avaliar o nível de utilização dos equipamentos.
Bloco Administrativo	Turnos de funcionamento	Análise inviável: Informações insuficientes de horários de utilização das salas, não sendo possível avaliar o nível de utilização dos equipamentos.
Centro De Convivência	Turnos de funcionamento	Análise inviável: Informações insuficientes de horários de utilização do auditório e salas, não sendo possível avaliar o nível de utilização dos equipamentos.
Almoxarifado	Turnos de funcionamento	Análise inviável: Informações insuficientes de horários de utilização das salas, não sendo possível avaliar o nível de utilização dos equipamentos.
Biblioteca	Turnos de funcionamento	Análise inviável: Informações insuficientes de horários de utilização das salas individuais e em grupo, não sendo possível avaliar o nível de utilização dos equipamentos.
Restaurante Universitário	Turnos de funcionamento	Análise inviável: Informações insuficientes de nível de utilização dos aparelhos.

Fonte: Autoria própria.

Conforme apresentado no Quadro 3, apenas quatro dos prédios estudados apresentaram viabilidade para análise: O bloco de aulas 1, bloco de aulas 2, bloco de aulas 3 e guarita. De forma que, diante da proporção física do prédio da guarita em relação aos demais prédios com viabilidade para análise, este foi desconsiderado, devido ao seu tamanho inferior e a sua carga instalada reduzida. Assim, a avaliação de consumo via validação por horários de aula e ocupação dos espaços se concentra nos três prédios de salas de aula da universidade. Especificamente nesta análise alternativa, para os três blocos de sala de aula, considera-se uma aproximação de potência instalada de iluminação e condicionadores de ar correspondente a carga total instalada desses blocos.

Tomando como exemplificação os processos da análise de consumo desenvolvidos no bloco de aulas 1, a Tabela 15 apresenta os dados obtidos de quantidade de aulas por horário em cada dia da semana, no período 2019.2.

Tabela 15 - Relação da quantidade de aulas por horário em cada dia da semana - período 2019.2

BLOCO DE AULAS 1 (10 SALAS)					
	S	T	Q	Q	S
Horários	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas
7:55 - 9:45	3	6	8	5	7
9:45 - 11:35	4	5	8	5	6
13:00 - 14:50	2	5	3	3	6
14:50 - 16:40	0	6	6	3	5
18-40-20:30	4	8	6	8	8
20:30-22:20	5	9	7	7	6

Fonte: Autoria própria.

Em posse das informações de funcionamento do prédio, constituído por 10 salas de aula iluminadas artificialmente e igualmente climatizadas, e considerando a presença de corredores e banheiros providos de iluminação artificial, foram estimados fatores de carga para os sistemas de iluminação e condicionadores de ar. Os fatores de carga dos dois sistemas foram calculados separadamente para cada turno de funcionamento do prédio e dia da semana, onde considerou-se para iluminação um fator levemente superior ao fator de condicionamento de ar devido a presença de luminárias em ambientes de acesso comum não climatizados.

Assim, para calcular o fator de carga de iluminação, considerou-se por exemplo a quantidade total de aulas naquele turno de funcionamento dividido pelo número total de salas de aulas do prédio. Enquanto que ao fator de condicionamento de ar aplicou-se uma leve redução em relação ao de iluminação. Com base nos fatores de carga encontrados, nas horas de duração dos turnos de funcionamento do prédio, e nos valores obtidos de potência instalada

através do levantamento de carga, foi possível determinar o consumo de energia elétrica dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar para cada dia da semana. Assim, as Tabelas 16, 17, 18, 19 e 20 detalham os fatores de carga e consumo estimados para o bloco de aulas 1 em cada dia da semana.

Tabela 16 - Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Segunda-feira)

Segunda-feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,35	3,92	13,73	0,25	16,45	57,57
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,1	1,12	4,15	0,1	6,58	24,35
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40 - 22:20	3,7	0,45	5,04	18,66	0,35	23,03	85,21
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				36,53482			167,132

Fonte: Autoria própria.

Tabela 17 - Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Terça-feira)

Terça - feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,55	6,16	21,57	0,45	29,61	103,64
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,55	6,16	22,81	0,45	29,61	109,56
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40 - 22:20	3,7	0,85	9,52	35,24	0,75	49,35	182,59
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				79,625735			395,787

Fonte: Autoria própria.

Tabela 18 - Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Quarta-feira)

Quarta-feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,8	8,96	31,38	0,7	46,06	161,21
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,45	5,04	18,66	0,35	23,03	85,21
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,65	7,28	26,95	0,55	36,19	133,90
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				76,99209	380,324		

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 - Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Quinta-feira)

Quinta-feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,5	5,60	19,61	0,4	26,32	92,12
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,3	3,36	12,44	0,2	13,16	48,69
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,75	8,40	31,10	0,65	42,77	158,25
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				63,151445	299,061		

Fonte: Autoria própria.

Tabela 20 - Fatores de carga de iluminação e condicionamento de ar estimados via horários de aula do bloco de aulas 1 (Sexta-feira)

Horários	Duração (h)	Sexta-feira					
		Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,65	7,28	25,49	0,55	36,19	126,66
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,55	6,164	22,81	0,45	29,61	109,56
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40 - 22:20	3,7	0,7	7,85	29,03	0,6	39,48	146,08
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				77,3283			382,298

Fonte: Autoria própria.

Construídas as tabelas base de perfil de consumo para cada dia da semana, a etapa final deste procedimento de análise consistiu na estimativa média mensal de consumo do prédio. Para dimensionar o consumo médio mensal do prédio foi considerado o somatório do consumo do sistema de iluminação e o somatório do consumo do sistema de condicionamento de ar, para cada turno de funcionamento, de acordo com cada dia da semana. Os valores de consumo semanais obtidos para cada sistema foram multiplicados pelo número de semanas do mês, avaliado como 4,3 semanas, e convertidos em consumo mensal. A Tabela 21 estrutura-se a partir dos valores de consumo mensais de iluminação e condicionamento de ar para cada turno de funcionamento do dia, bem como o consumo médio total mensal consequente do somatório desses valores.

Tabela 21 - Consumo mensal do bloco de aulas 1 via análise por horários de aula

MENSAL			
Horários	Energia de iluminação (kWh/Mês)	Energia de condicionadores de ar (kWh/mês)	Consumo Total (kWh/mês)
7:55 - 11:35	480,696	2327,182	2807,8777
11:36 - 12:59	0	0	0
13:00 - 16:40	347,692	1622,661	1970,352
16:41 - 18:39	0	0	0
18:40-22:20	606,231	3035,946	3642,178
22:21 - 7:54	0	0	0
Total	1434,619	6985,789	8420,408

Fonte: Autoria própria.

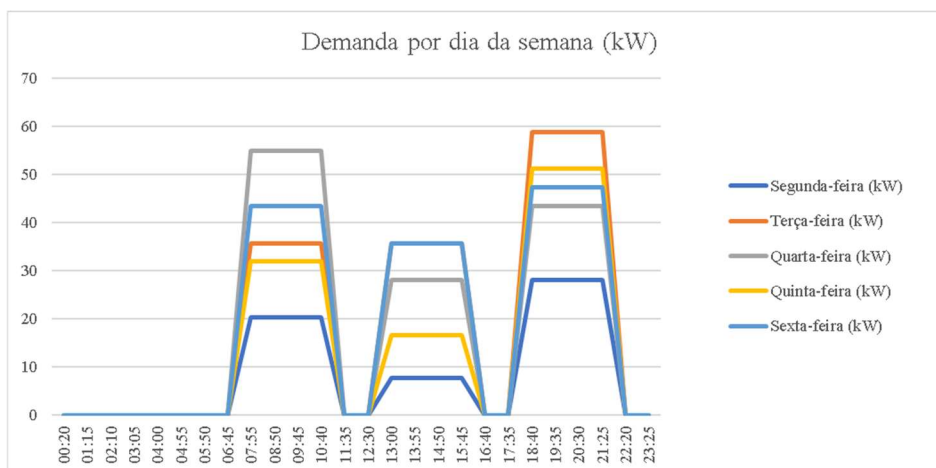
Com base nos valores de consumo obtidos, determinaram-se para o prédio curvas de demanda para cada dia da semana, considerando o produto entre o consumo médio de cada período e a sua respectiva quantidade de duração em horas. A Tabela 22 especifica os valores encontrados no estudo de demanda do bloco de aulas 1 para cada dia útil de funcionamento e a estimativa mensal. Como consequência do estudo de consumo e demanda realizados, as Figuras 21 e 22 apresentam, respectivamente, o perfil de demanda do prédio em curvas de representação diárias e mensal.

Tabela 22 - Demandas (kW) diária e mensal do bloco de aulas 1

Período (h)	Mensal (kW)	Diário				
		Segunda- feira (kW)	Terça- feira (kW)	Quarta- feira (kW)	Quinta- feira (kW)	Sexta- feira (kW)
00:20	-	-	-	-	-	-
01:15	-	-	-	-	-	-
02:10	-	-	-	-	-	-
03:05	-	-	-	-	-	-
04:00	-	-	-	-	-	-
04:55	-	-	-	-	-	-
05:50	-	-	-	-	-	-
06:45	-	-	-	-	-	-
07:55	802,25	20,37	35,77	55,03	31,92	43,47
08:50	802,25	20,37	35,77	55,03	31,92	43,47
09:45	802,25	20,37	35,77	55,03	31,92	43,47
10:40	802,25	20,37	35,77	55,03	31,92	43,47
11:35	-	-	-	-	-	-
12:30	-	-	-	-	-	-
13:00	532,53	7,70	35,77	28,07	16,52	35,77
13:55	532,53	7,70	35,77	28,07	16,52	35,77
14:50	532,53	7,70	35,77	28,07	16,52	35,77
15:45	532,53	7,70	35,77	28,07	16,52	35,77
16:40	-	-	-	-	-	-
17:35	-	-	-	-	-	-
18:40	984,37	28,07	58,88	43,47	51,18	47,32
19:35	984,37	28,07	58,88	43,47	51,18	47,32
20:30	984,37	28,07	58,88	43,47	51,18	47,32
21:25	984,37	28,07	58,88	43,47	51,18	47,32
22:20	-	-	-	-	-	-
23:25	-	-	-	-	-	-

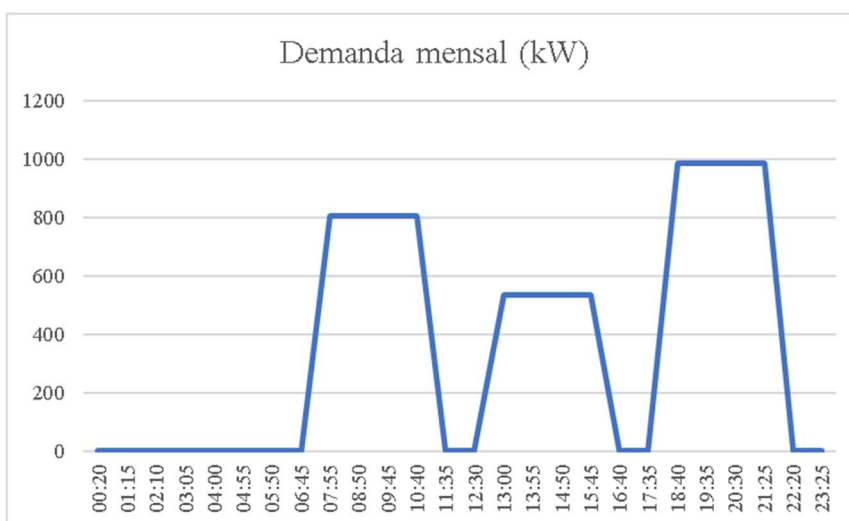
Fonte: Autoria própria.

Figura 21 - Demanda do bloco de aulas 1 por dia da semana - período 2019.2



Fonte: Autoria própria.

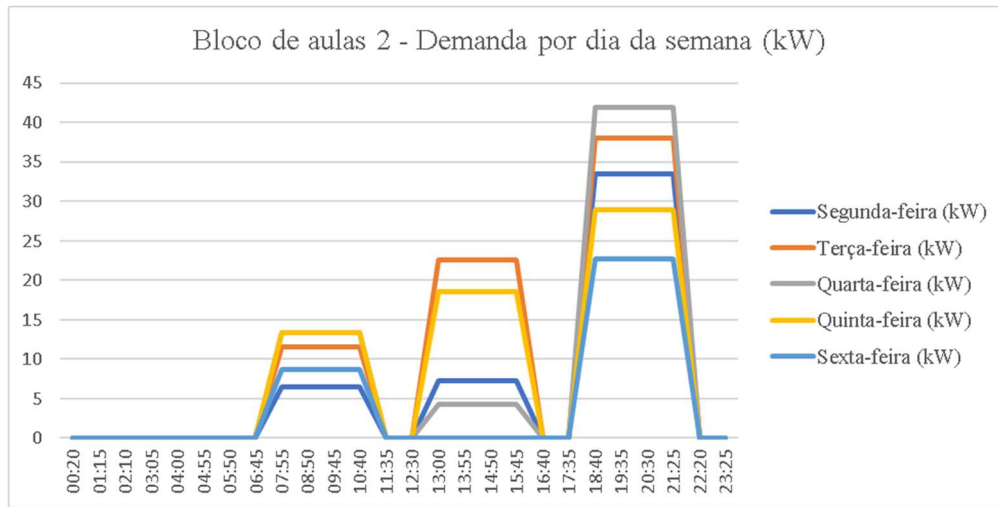
Figura 22 - Demanda média mensal do bloco de aulas 1 - semestre 2019.2



Fonte: Autoria própria.

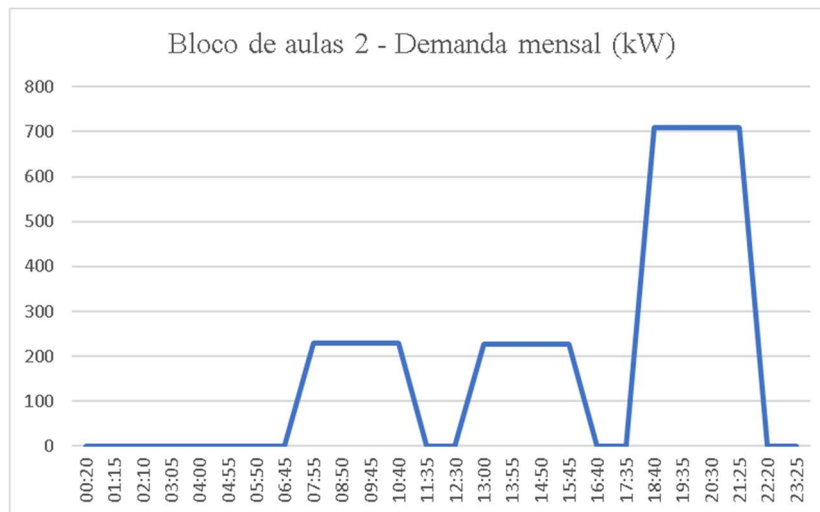
Finalizado o estudo de consumo e demanda do bloco de aulas 1, todo o processo foi replicado aos blocos 2 e 3 de aula, obtendo-se de maneira análoga ao bloco de aulas 1 os perfis de demanda diários e semanais (apêndices E e F). Nas Figuras 23 e 24 encontram-se, respectivamente, as curvas de demanda semanais e mensal do bloco de aulas 2, enquanto nas Figuras 25 e 26 são ilustradas a mesma sequência das curvas para o bloco de aulas 3.

Figura 23 - Demanda do bloco de aulas 2 por dia da semana - período 2019.2



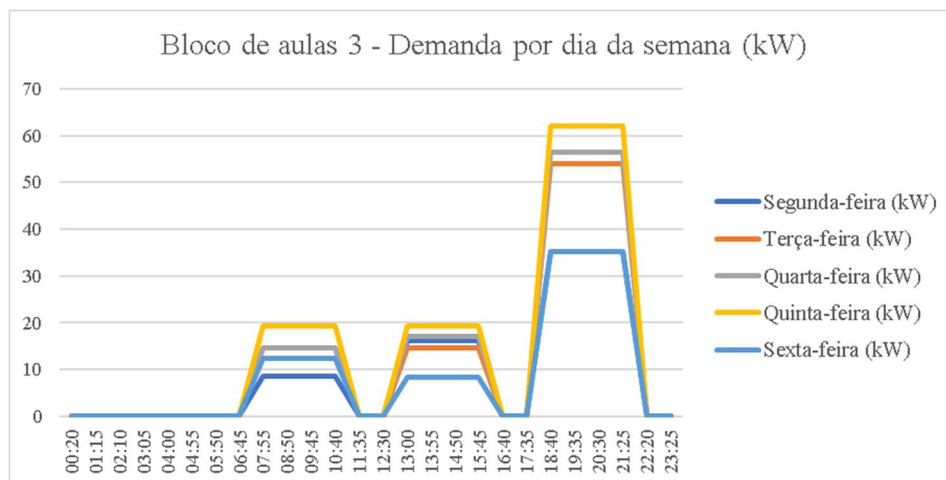
Fonte: Autoria própria.

Figura 24 - Demanda média mensal do bloco de aulas 2 - semestre 2019.2



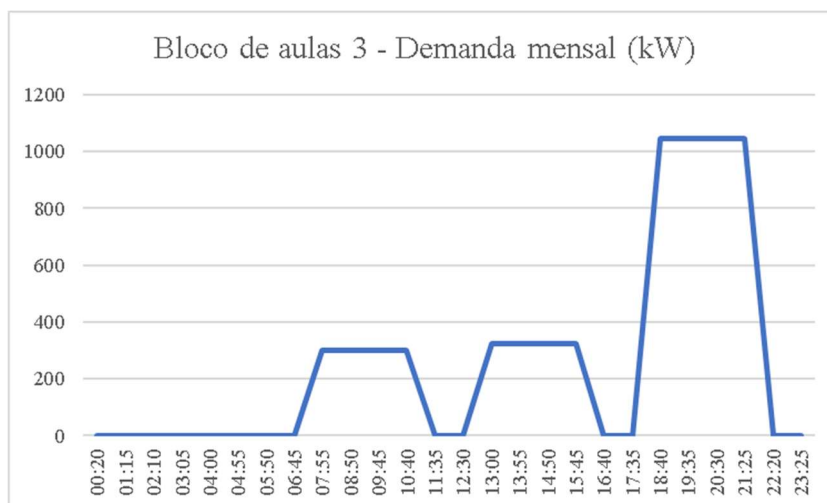
Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Demanda do bloco de aulas 3 por dia da semana - período 2019.2



Fonte: Autoria própria.

Figura 26 - Demanda média mensal do bloco de aulas 3 - semestre 2019.2



Fonte: Autoria própria.

O método alternativo por horários de ocupação de ambiente aplicado para a análise atual, possuiu como foco alcançar um grau superior de confiabilidade nos dados obtidos em relação à análise inicial de consumo realizada de forma empírica no tópico 3.1.2. A partir deste ponto, apenas se considerou como válidos e confiáveis os estudos de consumo e demanda dos blocos de aula 1,2 e 3 realizados no tópico atual, sendo apenas estes dados utilizados para as posteriores análises envolvendo consumo e demanda.

3.1.5. Contribuição dos prédios no consumo total de energia elétrica da universidade

Partindo dos parâmetros de consumo encontrados para os blocos de aulas no tópico 3.1.4, avaliaram-se os valores de consumo mensais estimados para os blocos em relação ao valor de consumo total da universidade, encontrado através das faturas de energia e geração da usina solar. Na Tabela 23 encontram-se os valores de consumo mensal calculados para cada um dos prédios de aula, o valor de consumo total do campus, e a porcentagem de contribuição resultante de cada prédio no consumo total da universidade. A porcentagem de contribuição dos blocos foi calculada através da divisão do valor de consumo de cada bloco pelo valor de consumo total.

Tabela 23 - Estimativa de contribuição dos blocos de aula 1,2 e 3 no consumo total da universidade

Estimativa De Contribuição Dos Prédios No Consumo Mensal			
Prédio	Consumo Por Prédio (kWh/mês)	Consumo Total do Campus (kWh/mês)	Porcentagem de Contribuição
Bloco de Aulas 1	8420,41	58239,06	14,5%
Bloco de Aulas 2	4267,62	58239,06	7,3%
Bloco de Aulas 3	6111,08	58239,06	10,5%

Fonte: Autoria própria.

Em escala anual, considera-se que as porcentagens permanecem mantidas quando multiplicados os valores obtidos pela quantidade de meses de funcionamento dos prédios. Deste modo, foi possível estimar a parcela anual de consumo de cada bloco de aula em relação ao consumo total da universidade.

3.2. CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PRÉDIOS VIA RTQ-C

O segundo processo abordado como metodologia do presente trabalho consistiu no diagnóstico de eficiência energética dos sistemas elétricos dos prédios da universidade, conforme os parâmetros da norma RTQ-C PROCEL. Com exceção da guarita e residência universitária, todos os demais foram prédios presentes no levantamento de carga instalada foram escolhidos para avaliação.

Para este trabalho foi utilizado o método prescritivo do RTQ-C para a avaliação de todos os sistemas. O método foi escolhido por apresentar maior viabilidade de implementação em relação ao método de simulação, dadas os mecanismos e ferramentas disponíveis para o desenvolvimento deste estudo. As avaliações foram possíveis a partir dos dados coletados no levantamento de carga instalada discutido no tópico 3.1.1, e de dados adicionais coletados para cada etapa das análises explanadas a seguir. Foram evidenciadas as avaliações dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, abordando-se a envoltória apenas como uma estimativa complementar para dar suporte as avaliações finais e tornar possível uma estimativa de eficiência energética total dos prédios.

3.2.1. Cumprimento de pré-requisitos gerais para nível máximo de eficiência

Inicialmente, antes da análise de qualquer um dos sistemas para os prédios, deve ser realizada a verificação dos pré-requisitos gerais do nível de eficiência pretendido. Os pré-requisitos gerais verificados referem-se ao nível A de eficiência energética, para confirmar ou

descartar a possibilidade da obtenção desse nível de eficiência para os prédios ainda antes de se avaliar os sistemas.

O primeiro pré-requisito checado foi o de divisão dos circuitos por uso final, que foi avaliado tanto por verificação em campo quanto pelos documentos de projetos elétricos fornecidos pela universidade. Todos os prédios selecionados para análise via RTQ-C se adequaram ao pré-requisito. Já o segundo pré-requisito específico do nível de eficiência pretendido consistiu no aquecimento de água, o que não se aplica a nenhuma das construções, uma vez que não se realiza nenhum processo com aquecimento de água para as instalações da universidade. Deste modo, confirmada a possibilidade de se obter nível máximo de eficiência energética para todos os prédios, segue-se para a análise dos sistemas e posterior aplicação dos resultados na obtenção do nível de eficiência total de cada prédio.

3.2.2. Envoltória

Caracterizada como um dos três sistemas de fundamental avaliação do RTQ-C, a análise do sistema de envoltória de um edifício possui caráter obrigatório para obtenção de uma etiqueta parcial ou total de eficiência energética. Para diagnóstico de eficiência energética desse sistema requer-se uma determinada quantidade de informações para que a análise se torne possível, deste modo sendo necessárias informações construtivas detalhadas das paredes e telhados dos edifícios. Apesar de sua notável e fundamental importância na perspectiva de eficiência energética dos prédios, a análise de envoltória não esteve em evidência para a realização deste trabalho.

Além de não ser objeto de estudo prioritário, houve ainda a impossibilidade de coleta das informações necessárias para análise desses sistemas, isto porquê os documentos disponibilizados pela universidade apenas constavam informações elétricas e de área dos prédios. Enquanto o levantamento de carga instalada também apenas considerou dados de potência e quantidades de equipamentos. Outro ponto de impacto negativo para realização desta análise foi o cenário de pandemia iniciado, impossibilitando um novo levantamento de informações em campo. Assim, dados como tipos de materiais e estruturas utilizados na construção dos edifícios, aberturas e sombreamentos, não puderam ser coletados, consequentemente não permitindo a análise que seria realizada via método prescritivo.

Como alternativa aos inconvenientes encontrados, e considerando que o alcance dos objetivos do trabalho não seria prejudicado, optou-se por considerar o valor mínimo de eficiência de envoltória para todos os prédios com avaliação prevista pelo RTQ-C. Assim, determinou-se uma envoltória nível E de eficiência energética para todos os prédios, resultando

em um equivalente numérico EqNumEnv igual a 1 conforme a conversão entre nível de eficiência para equivalente numérico abordada na Tabela 2 do tópico 2.2.3.

3.2.3. Sistema de Iluminação

Para avaliação do sistema de iluminação pelo método prescritivo, coletaram-se informações adicionais de área dos edifícios, isto porquê os dois métodos disponíveis de avaliação deste sistema do RTQ-C solicitam as informações de áreas dos ambientes. Deste modo, a exemplo do bloco de aulas 1, com seus dados de área explanados na Tabela 24, todos os blocos tiveram seus dados de área coletados, com exceção da guarita e residência universitária.

Tabela 24 - Detalhamento de áreas dos ambientes do bloco de aulas 1

BLOCO DE AULAS 1	
Local	Área Interna (m²)
Hall	109,85
BWC (P.N.E.) FEM.	2,72
BWC FEM.	36,9
Deposito DML	3,1
BWC (P.N.E) Masc.	2,72
BWC Masc.	31,9
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Sala de Aula	63
Circulação	76,68
Circulação	71,88
TOTAL	965,75
A.C.	630
A. P. T.	335,75

Fonte: Autoria própria.

Os dados presentes na Tabela 24 foram obtidos através de documentações disponibilizadas pela universidade, constando os projetos elétricos e áreas dos ambientes dos prédios. Com isto, foi possível obter a área interna total, a área condicionada (A. C.) e a área de permanência transitória (A. P. T.) de cada prédio. Coletadas estas informações, definiu-se o método de análise a ser utilizado para classificação do sistema de iluminação segundo o RTQ-C. Para todos os blocos estudados aplicou-se o método da área do edifício, cuja aplicação indica-se quando mais de 30% da área do prédio é ocupada na realização de uma atividade principal, ou quando o edifício apresenta até três atividades principais sendo executadas.

No caso do bloco de aulas 1, bem como os demais blocos de aula, a atividade predominante consiste na realização de aulas, sendo a maior parcela de área desses blocos sendo ocupada por salas de aula numa porcentagem superior a 30%. A função dos três prédios de aulas e laboratórios pode ser caracterizada como de escola/universidade. Já os dois blocos de professores e o administrativo possuem como função predominante a de escritório, com mais de 30% da área desses prédios correspondendo a realização dessa atividade.

De forma análoga, a biblioteca possui função principal caracterizada pelo seu próprio nome, o almoxarifado a de armazém, o setor de transportes correspondendo a função de transporte, o centro de convivência referindo-se à função de centro de convenções, e o restaurante universitário com função caracterizada pelo seu próprio nome. Todas as funções identificadas para os prédios foram atribuídas conforme a Tabela 5 do método das áreas do RTQ-C, onde constam os limites de densidade de potência limite por nível de eficiência conforme a função do edifício. A partir da tabela citada, transcreveu-se para o Quadro 4 a seguir apenas as informações necessárias para aplicação do método das áreas aos prédios estudados.

Quadro 4 - Limites de densidade de potência de iluminação por nível de eficiência conforme as funções dos prédios da universidade.

FUNÇÃO DO EDIFÍCIO	DPI limite W/m ² (Nível A)	DPI limite W/m ² (Nível B)	DPI limite W/m ² (Nível C)	DPI limite W/m ² (Nível D)
ESCOLA/UNIVERSIDADE	10,7	12,3	13,9	15,5
ESCRITÓRIO	9,7	11,2	12,6	14,1
TRANSPORTES	8,3	9,5	10,8	12
CENTRO DE CONVENÇÕES	11,6	13,3	15,1	16,8
ARMAZÉM	7,1	8,2	9,2	10,3
BIBLIOTECA	12,7	14,6	16,5	18,4
RESTAURANTE	9,6	11	12,5	13,9

Fonte: Autoria própria.

Coletadas as informações de área dos prédios e identificadas suas respectivas funções, o procedimento aplicado para determinar o nível de eficiência energética com base na DPI limite no método da área, consiste inicialmente na determinação dos produtos entre a área do edifício e os valores de DPI limite de cada nível de eficiência referente a função do edifício. Em seguida, compara-se o valor de potência total de iluminação do prédio com o valor calculado com a área e a DPI, para assim determinar a qual nível de eficiência de iluminação o prédio corresponde. O procedimento desenvolvido pode ser visualizado na Tabela 25, onde a análise foi aplicada a cada um dos prédios.

Tabela 25 - Classificação do sistema de iluminação dos prédios por DPI limite via método da área do edifício (RTQ-C)

		A	B	C	D
Bloco de aulas 1	Potência total de iluminação (W)	11207			
	Área (m²)	965,75			
	DPI _L (W/m²)	10,7	12,3	13,9	15,5
	Área x DPI _L (W)	10334	11879	13424	14969
	Nível	B			
Bloco de aulas 2	Potência total de iluminação (W)	11184			
	Área (m²)	962,15			
	DPI _L (W/m²)	10,7	12,3	13,9	15,5
	Área x DPI _L (W)	10295	11834	13374	14913
	Nível	B			
Bloco de aulas 3	Potência total de iluminação (W)	11946			
	Área (m²)	1200,42			
	DPI _L (W/m²)	10,7	12,3	13,9	15,5
	Área x DPI _L (W)	12844	14765	16686	18607
	Nível	A			
Bloco de laboratórios 1	Potência total de iluminação (W)	13091			
	Área (m²)	1115,55			
	DPI _L (W/m²)	10,7	12,3	13,9	15,5
	Área x DPI _L (W)	11936	13721	15506	17291
	Nível	B			
Bloco de laboratórios 2	Potência total de iluminação (W)	10222			
	Área (m²)	1204,52			
	DPI _L (W/m²)	10,7	12,3	13,9	15,5
	Área x DPI _L (W)	12888	14816	16743	18670
	Nível	A			
Bloco de Professores 1	Potência total de iluminação (W)	8960			
	Área (m²)	943,41			
	DPI _L (W/m²)	9,7	11,2	12,6	14,1
	Área x DPI _L (W)	9151	10566	11887	13302
	Nível	A			
Bloco de Professores 2	Potência total de iluminação (W)	8782			
	Área (m²)	943,41			
	DPI _L (W/m²)	9,7	11,2	12,6	14,1
	Área x DPI _L (W)	9151	10566	11887	13302
	Nível	A			
Bloco administrativo	Potência total de iluminação (W)	8840			
	Área (m²)	855,84			
	DPI _L (W/m²)	9,7	11,2	12,6	14,1
	Área x DPI _L (W)	8302	9585	10784	12067
	Nível	A			

Biblioteca	Potência total de iluminação (W)	18406			
	Área (m ²)	1221,36			
	DPI _L (W/m ²)	12,7	14,6	16,5	18,4
	Área x DPI _L (W)	15511	17832	20152	22473
	Nível	C			
Centro de convivência	Potência total de iluminação (W)	3144			
	Área (m ²)	799,38			
	DPI _L (W/m ²)	11,6	13,3	15,1	16,8
	Área x DPI _L (W)	9273	10632	12071	13430
	Nível	A			
Almoxarifado	Potência total de iluminação (W)	3364			
	Área (m ²)	526,42			
	DPI _L (W/m ²)	7,1	8,2	9,2	10,3
	Área x DPI _L (W)	3738	4317	4843	5422
	Nível	A			
Restaurante Universitário	Potência total de iluminação (W)	7208			
	Área (m ²)	866,35			
	DPI _L (W/m ²)	9,6	11	12,5	13,9
	Área x DPI _L (W)	8317	9530	10829	12042
	Nível	A			

Fonte: Autoria própria.

Concluída a classificação do sistema de iluminação por DPI limite, a etapa seguinte consiste em analisar os pré-requisitos específicos para verificar se os níveis encontrados de eficiência se mantêm ou diminuem. Os pré-requisitos específicos desse sistema foram avaliados para cada um dos prédios. O primeiro, referente a divisão dos circuitos de iluminação prevê o acionamento do sistema de iluminação dos ambientes internos por pelo menos um dispositivo a cada 250 m² de área, assim, verificou-se o cumprimento deste requisito em todos os ambientes de todos os prédios avaliados.

O segundo pré-requisito, de contribuição de luz natural, determina que deve haver acionamento independente das fileiras de luminária próximas a aberturas com incidência de luz solar, não havendo nenhum prédio da universidade que cumpriu este requisito. Já o último pré-requisito, de desligamento automático do sistema de iluminação, previsto para ambientes com área superior a 250 m², apenas aplicou-se a um único ambiente localizado no prédio da biblioteca, não sendo cumprido para ele.

Diante das verificações dos pré-requisitos específicos e de suas características limitantes no nível final de eficiência do sistema de iluminação, de acordo com as condições de cumprimento de pré-requisitos da Tabela 4 do tópico 2.2.5.1, o nível máximo possível de eficiência para o sistema de iluminação se restringiu ao C, para quase todos os prédios

analisados, com exceção dos blocos de professores 1 e 2, que obtiveram o nível B como final. O equivalente numérico EqNumDPI correspondente ao nível encontrado foi igual a 3, de acordo com a conversão pela Tabela 2 do tópico 2.2.3.

3.2.4. Sistema de condicionamento de ar

O sistema de condicionamento de ar possui procedimentos distintos de avaliação de acordo com a classificação ou não dos equipamentos de refrigeração/aquecimento pelo INMETRO. Para todos os prédios da universidade apenas foram catalogados equipamentos de refrigeração, todos devidamente classificados e etiquetados pelo INMETRO. Dentre os prédios avaliados conforme o RTQ-C, a biblioteca, o centro de convivência e o restaurante universitário não tiveram seus sistemas de condicionamento de ar classificados. A não classificação do nível de eficiência dos prédios citados se deu pela existência, além de equipamentos individuais de condicionamento de ar, de sistemas centrais de refrigeração de grande porte em grandes áreas desses prédios, dos quais não se obteve dados suficientes para serem classificados.

No que se refere à verificação de cumprimento dos pré-requisitos específicos do sistema de condicionamento de ar para obtenção do nível máximo de eficiência, aplicou-se aos prédios apenas o requisito de isolamento térmico dos dutos de ar. Para todos os prédios avaliados foi considerado o atendimento do pré-requisito, levando em consideração que os projetos e instalações dos aparelhos de refrigeração da universidade foram devidamente embasados nas normas técnicas de referência e desenvolvidos por profissionais qualificados. Atestando-se a possibilidade de se obter o máximo nível de eficiência para os sistemas de condicionamento de ar de todos os prédios.

O procedimento aplicado de classificação de eficiência dos sistemas, de acordo com o RTQ-C, consistiu na verificação do nível de eficiência dos aparelhos de cada prédio, com nível de eficiência do prédio resultando na média de eficiência de seus aparelhos em relação a área refrigerada por eles. No caso da universidade, todos os aparelhos instalados possuíram nível de eficiência A, conforme verificação em campo no momento do levantamento de carga. Assim, a classificação obtida para o sistema de condicionamento de ar foi A para todos os prédios avaliados, correspondendo a um EqNumCA igual a 5, conforme a Tabela 2 do tópico 2.2.3.

3.2.5. Classificação final sem bonificação

Considerando as avaliações realizadas para os três sistemas previstos pelo RTQ-C, foi possível aplicar os procedimentos de obtenção de classificação final do edifício para 10 dos 13 prédios com avaliação prevista pelo RTQ-C: blocos de aulas 1, 2 e 3, blocos de laboratórios 1

e 2, bloco de professores 1 e 2, setor de transporte, bloco administrativo e almoxarifado. Para classificação final de eficiência aplicou-se para cada edificação a equação de pontuação total (PT), ou Eq. 1, apresentada no tópico 2.2.3.

Para cada um dos prédios foram considerados os valores encontrados dos equivalentes numéricos calculados pela análise de cada um dos três sistemas do RTQ-C, como detalhado nos tópicos anteriores 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4. Foi atribuído o pior caso de eficiência para envoltória de todos os prédios, com EqNumEnv igual a 1, calculou-se a eficiência C para o sistema de iluminação de todos os prédios devido ao não cumprimento de pré-requisitos, com EqNumDPI igual a 3, e para o sistema de condicionadores de ar, estimou-se para todos os prédios a máxima eficiência energética devido à classificação dos aparelhos instalados, com EqNumCA igual a 5.

A determinação das demais variáveis da Eq. 1 de pontuação total foi realizada para cada uma das edificações. Sendo a área útil (AU) equivalente a área total catalogada na Tabela 24 de detalhamento das áreas dos ambientes através dos projetos dos prédios disponibilizados pela universidade, abordada no tópico 3.2.3. Ainda desta tabela, foram coletados os valores de área útil condicionada (AC) e de área útil de permanência transitória (APT). O valor de área útil não condicionada (ANC), corresponde aos ambientes de permanência prolongada não ventilados artificialmente, o que não ocorre em nenhum dos prédios, sendo todos os ambientes de permanência prolongada ventilados artificialmente, assim, o valor de ANC é 0 para todos os edifícios.

Outra variável determinada foi o equivalente numérico de ventilação natural (EqNumV), que corresponde à eficiência da ventilação natural nos ambientes de permanência prolongada não ventilados artificialmente, com comprovação do conforto devendo ser determinado via simulação. A variável, no entanto, também obteve valor 0 para todos os prédios, não existindo ambientes desse tipo em nenhuma das edificações. Já a variável *b*, referente a pontuação extra obtida pela comprovação de alguma iniciativa de eficiência energética adotada pelo prédio, não foi considerada neste primeiro momento, sendo atribuída como 0 para as análises do tópico atual.

A Tabela 26 apresenta cada prédio com seus equivalentes numéricos e respectivas variáveis calculadas, compondo todas as informações numéricas necessárias para realização do cálculo de classificação total de eficiência.

Tabela 26 - Relação das variáveis da equação de pontuação total para cada prédio

Prédio	AU (m ²)	AC (m ²)	APT (m ²)	ANC (m ²)	EqNumV	EqNumEnv	EqNumDPI	EqNumCA
Bloco de aulas 1	965,8	630,0	335,8	0	0	1	3	5
Bloco de aulas 2	962,2	626,4	335,8	0	0	1	3	5
Bloco de aulas 3	1200,4	808,2	392,2	0	0	1	3	5
Bloco de professores 1	943,4	707,9	235,5	0	0	1	3	5
Bloco de professores 2	943,4	707,9	235,5	0	0	1	3	5
Bloco de laboratórios 1	1115,6	751,3	364,2	0	0	1	3	5
Bloco de laboratórios 2	1204,5	934,6	269,9	0	0	1	3	5
Setor de transporte	266,3	41,1	225,2	0	0	1	3	5
Bloco administrativo	855,8	542,9	312,9	0	0	1	3	5
Almoxarifado	526,4	20,7	505,7	0	0	1	3	5

Fonte: Autoria própria.

Avaliados os sistemas e em posse das informações da Tabela 26, evidenciou-se a aplicação da Eq. 1 de pontuação total, reescrevendo-a no *software* de matemática e engenharia *Mathcad*¹, que permite a resolução de problemas desta natureza. A Figura 27 ilustra o procedimento desenvolvido através do *software*: declaração das variáveis para entrada dos valores, apresentação da equação PT, e comparação do resultado da equação com os valores limites para identificação do nível de eficiência conforme estabelecido na Tabela 3 do tópico 2.2.3.

Figura 27 - Cálculo de pontuação total do RTQ-C no *software Mathcad*

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL

$$\begin{aligned}
 &EqNumEnv := \text{[input]} & AC &:= \text{[input]} \\
 &EqNumV := \text{[input]} & AU &:= \text{[input]} \\
 &EqNumDPI := \text{[input]} & APT &:= \text{[input]} \\
 &EqNumCA := \text{[input]} & ANC &:= \text{[input]} \\
 &b := \text{[input]}
 \end{aligned}$$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(\frac{EqNumEnv}{AU} \cdot AC \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(\frac{EqNumCA}{AU} \cdot AC \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = ?$$

$$\begin{aligned}
 A &:= PT > 4.5 = ? \\
 B &:= PT > 3.5 = ? \\
 C &:= PT > 2.5 = ? \\
 D &:= PT > 1.5 = ? \\
 E &:= PT < 1.5 = ?
 \end{aligned}$$

Fonte: Autoria própria.

A lógica utilizada para obtenção do nível de eficiência diante das limitações de valores utilizadas correspondeu apenas a uma aproximação, uma vez que se considera $PT \geq 4,5$ para indicar o nível A, $PT \geq 3,5$ para o nível B, $PT \geq 2,5$ para o nível C, $PT \geq 1,5$ para nível D, e $PT < 1,5$

¹ Disponível em: <https://www.mathcad.com/pt/>.

para nível E. Foi realizada para cada prédio uma análise individual para diagnóstico de sua classificação de eficiência energética total conforme o RTQ-C. Os dados de cada edifício apresentados na Tabela 26 foram aplicados ao seu arquivo referente no *Mathcad* para cálculo da fórmula ilustrada na Figura 27. Com base no procedimento detalhado, apresenta-se na Figura 28 a aplicação da equação PT para o bloco de aulas 1, resultando em um valor para PT de 3,617, correspondendo ao nível B de eficiência energética.

Figura 28 - Cálculo de pontuação total de eficiência do RTQ-C para o bloco de aulas 1

RTQ-C PONTUAÇÃO TOTAL	
$EqNumEnv := 1$	$AC := 630$
$EqNumV := 0$	$AU := 965.75$
$EqNumDPI := 3$	$APT := 335.75$
$EqNumCA := 5$	$ANC := 0$
$b := 0$	
$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.617]$	
$\begin{aligned} A &:= PT > 4.5 = [0] \\ B &:= PT > 3.5 = [1] \\ C &:= PT > 2.5 = [1] \\ D &:= PT > 1.5 = [1] \\ E &:= PT < 1.5 = [0] \end{aligned}$	

Fonte: Autoria própria.

De maneira análoga ao processo desenvolvido e ilustrado para o bloco de aulas 1, replicou-se o método de análise para os outros 9 prédios analisados, encontrando suas respectivas classificações totais de eficiência energética (apêndice G). Vale ressaltar que o cálculo da classificação realizado no presente tópico não considerou a pontuação de bonificação, que quando comprovada pode subir em até um nível a eficiência energética do edifício. Deste modo, avalia-se a seguir a possibilidade da obtenção da pontuação da variável bônus para os prédios da universidade e seu impacto no resultado da classificação total de eficiência.

3.2.6. Classificação final com bonificação

Para classificação final de eficiência considerando a variável de bonificação, identificou-se inicialmente qual categoria de bonificação poderia ser obtida pelos prédios. Com a presença da usina de energia solar instalada no campus e sua contribuição no fornecimento de energia elétrica aos prédios da universidade, verificou-se a possibilidade de obtenção da pontuação de bonificação através da iniciativa de utilização de sistemas ou fontes renováveis de energia, como previsto na regulamentação.

De acordo com as condições desta iniciativa, estabelecidas pelo RTQ-C, a pontuação de bonificação apenas poderia ser atribuída ao edifício que comprovasse que sua fonte de geração renovável fornecesse uma economia de energia elétrica de no mínimo 10% no consumo anual. Com base nessas considerações, foi desenvolvido o estudo de contribuição anual da geração da usina para os prédios com estimativa conhecida e validada de consumo. Para a verificação de obtenção da pontuação de bonificação foram considerados apenas os blocos de aulas 1, 2 e 3, conforme as motivações discutidas no tópico 3.1.4.

De acordo com o estudo de consumo realizado para os blocos de aula, foram estabelecidas suas respectivas porcentagens de contribuição anual de consumo da universidade. Bastando verificar se 10% do consumo anual de cada um desses prédios é suprido pela geração da usina solar fotovoltaica do campus. A problemática encontrada para isto foi de que todos os prédios possuem uma fatura compartilhada de energia, e, conseqüentemente, a geração da usina não se direciona individualmente ao consumo de nenhum dos edifícios, mas sim aos prédios da universidade como um todo. Vale ainda ressaltar que apesar de ser possível considerar uma mesma parcela de contribuição da usina para todos os prédios, não se pode garantir que isso de fato ocorre, principalmente quando considerado os diferentes perfis de demanda dos prédios e a geração da usina apenas no turno diurno.

Como solução para o problema discutido, trabalhou-se com a geração anual da usina e estabeleceu-se que a porcentagem de geração da usina direcionada para cada um dos blocos de aula seria equivalente à porcentagem de contribuição desses blocos no consumo da universidade. Assim, conforme a Tabela 23 do tópico 3.1.5, os blocos de aula 1,2 e 3 possuem respectivamente as porcentagens de contribuição de 14,5%, 7,3% e 10,5% no consumo anual de eletricidade da universidade, sendo essas porcentagens igualmente aplicadas como parcela de geração da usina direcionada a cada um desses prédios.

A base de dados para calcular os critérios discutidos de obtenção de bônus para os blocos consiste nos valores de porcentagem de contribuição, consumo dos blocos e geração da usina, discutidos em tópicos anteriores e reapresentados na Tabela 27. Ainda na tabela apresenta-se o valor calculado de 10% do consumo anual de cada bloco, e a estimativa de contribuição anual da usina para cada bloco com base na aplicação da porcentagem de contribuição no valor de geração médio anual da usina.

Tabela 27 - Análise da contribuição da usina no consumo anual dos blocos de aulas 1, 2 e 3 para verificação do critério de concessão para bonificação

Prédio	Porcentagem de contribuição	Consumo (kWh/ano)	10% do Consumo (kWh/ano)	Geração média da usina (kWh/ano)	Contribuição da Usina (kWh/ano)
Bloco de aulas 1	14,5%	101044,9	10104,5	109055,94	15767,69
Bloco de aulas 2	7,3%	51211,5	5121,1	109055,94	7991,37
Bloco de aulas 3	10,5%	73333,0	7333,3	109055,94	11443,34

Fonte: Autoria própria.

Com base nos dados da tabela 27 comprova-se a obtenção da pontuação de bonificação para os blocos de aula, conforme a superioridade dos valores calculados de contribuição anual da usina para os prédios em relação aos valores referentes a 10% do consumo anual de cada prédio.

A partir da análise realizada, foi considerado o cumprimento dos requisitos necessários para obtenção da pontuação de bonificação para os três blocos de aula, sendo possível recalculá-la para eles a equação PT do RTQ-C considerando essa pontuação. O procedimento de reaplicação do cálculo de classificação final do prédio, considerando a bonificação de valor 1, foi realizado conforme a exemplificação da Figura 29, que ilustra o cálculo para o bloco de aulas 1.

Figura 29 - Cálculo de pontuação total de eficiência do RTQ-C para o bloco de aulas 1 considerando bonificação

$$\begin{aligned}
 &\text{RTQ-C} \\
 &\text{PONTUAÇÃO TOTAL} \\
 &EqNumEnv := 1 \quad AC := 630 \\
 &EqNumV := 0 \quad AU := 965,75 \\
 &EqNumDPI := 3 \quad APT := 335,75 \\
 &EqNumCA := 5 \quad ANC := 0 \\
 &b := 1 \\
 &PT := 0,3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0,3 \cdot [EqNumDPI] + 0,4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [4,617] \\
 &\left. \begin{aligned} A &:= PT > 4,5 = 1 \\ B &:= PT > 3,5 = 1 \\ C &:= PT > 2,5 = 1 \\ D &:= PT > 1,5 = 1 \\ E &:= PT < 1,5 = 0 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}$$

Fonte: Autoria própria.

A contribuição da variável bônus permite ao bloco de aulas 1 uma melhoria significativa de eficiência, passando do nível B para o A. De maneira análoga, aplicou-se o procedimento de recálculo do valor de PT para os blocos 2 e 3 de aulas (apêndice H). É válido destacar que todas as análises e procedimentos desenvolvidos neste trabalho consideraram o cenário pré pandemia, com levantamento de dados e estudo de funcionamento dos prédios realizado conforme o ano

base de 2019. A seguir, serão abordados e sintetizados todos os resultados obtidos com a aplicação da metodologia apresentada nesta seção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão discutidos os principais resultados obtidos através dos processos metodológicos utilizados, correlacionando-os com os objetivos inicialmente propostos neste trabalho.

4.1. LEVANTAMENTO DE CARGA INSTALADA

No que diz respeito a obtenção dos perfis de consumo e demanda dos prédios da universidade, o levantamento de carga instalada dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, apresenta-se como ponto de partida para realização de todas as análises. Como resultado do levantamento realizado em campo para todos os prédios internos ao campus e residência universitária, obteve-se Tabela 28 com o detalhamento dos equipamentos, quantidade, potência por ponto e potência total por tipo de equipamento.

Desenvolvendo-se adicionalmente uma versão simplificada da Tabela 28, a Tabela 29, sendo uma simplificação da primeira, apresentando os valores totais de cada sistema, com a quantidade total de equipamentos dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, e apresentando suas respectivas potências totais instaladas.

Tabela 28 - Levantamento detalhado de carga instalada dos prédios da universidade

LEVANTAMENTO DETALHADO DE CARGA INSTALADA							
Equipamento	Quantidade	Watts/ ponto	W	Equipamento	Quantidade	Watts/ ponto	W
(a) BLOCO DE AULAS 1				(i) GUARITA			
Lâmpada fluorescente	56	40	2240	Lâmpada fluorescente	12	40	480
Lâmpada fluorescente	247	36	8892	Lâmpada fluorescente compacta	2	15	30
Ar-condicionado 36000 btu	20	3290	65800	Ar-condicionado Inverter 24000 btu	1	1466,67	1466,67
Lâmpada fluorescente compacta	5	15	75	TOTAL			1976,67
TOTAL			77007	(j) SETOR DE TRANSPORTE			
(b) BLOCO DE AULAS 2				Lâmpada fluorescente	6	160	960
Lâmpada fluorescente	24	40	960	Lâmpada fluorescente	16	40	640
Lâmpada fluorescente	284	36	10224	Lâmpada fluorescente compacta	18	15	270
Ar-condicionado 36000 btu	12	3290	39480	Lâmpada fluorescente	5	85	425
Ar-condicionado 24000 btu	6	2350	14100	Ar-condicionado 12000 btu	4	1085	4340
TOTAL			64764	TOTAL			6635
(c) BLOCO DE AULAS 3				(k) ALMOXARIFADO			
Lâmpada fluorescente	324	32	10368	Lâmpada fluorescente	24	85	2040
Lâmpada fluorescente	53	20	1060	Lâmpada fluorescente	6	160	960
Lâmpada fluorescente	23	16	368	Lâmpada fluorescente compacta	4	15	60
Lâmpada fluorescente compacta	10	15	150	Lâmpada fluorescente	4	36	144
Ar-condicionado 36000 btu	19	3290	62510	Lâmpada fluorescente	4	40	160

Ar-condicionado Inverter 12000 btu	4	753,33	3013,32	Ar-condicionado 12000 btu	2	1085	2170
Ar-condicionado Inverter 24000 btu	1	1466,67	1466,67	TOTAL			5534
TOTAL			78935,99	(l) CENTRO DE CONVIVÊNCIA			
(d) BLOCO DE PROFESSORES 1				Lâmpada fluorescente	6	6	36
Lâmpada fluorescente	224	40	8960	Lâmpada fluorescente	51	32	1632
Ar-condicionado 12000 btu	35	1085	37975	Lâmpada fluorescente	1	40	40
Ar-condicionado 36000 btu	4	3290	13160	Lâmpada fluorescente	64	16	1024
TOTAL			60095	Lâmpada fluorescente compacta	29	8	232
(e) BLOCO DE PROFESSORES 2				Lâmpada fluorescente compacta	12	15	180
Lâmpada fluorescente	196	40	7840	Ar-condicionado 9000 btu	2	770	1540
Lâmpada fluorescente	24	32	768	Ar-condicionado 18000 btu	2	1950	3900
Lâmpada fluorescente compacta	2	15	30	Ar-condicionado 240000 btu	2	20200	40400
Lâmpada fluorescente compacta	12	12	144				48984
Ar-condicionado 60000 btu	2	5700	11400	(m) BLOCO ADMINISTRATIVO			
Ar-condicionado Inverter 18000 btu	35	1033,33	36166,55	Lâmpada fluorescente	208	40	8320
TOTAL			56348,55	Lâmpada fluorescente	12	20	240
(f) BLOCO DE LABORATÓRIOS 1				Lâmpada fluorescente	10	16	160
Lâmpada fluorescente	298	40	11920	Lâmpada fluorescente compacta	8	15	120
Lâmpada LED	2	8	16	Ar-condicionado 12000 btu	13	1085	14105
Lâmpada fluorescente compacta	77	15	1155	Ar-condicionado 24000 btu	6	2111	12666
Ar-condicionado 12000 btu	3	1085	3255	Ar-condicionado 18000btu	3	1550	4650
Ar-condicionado 36000 btu	12	3290	39480	Ar-condicionado 36000 btu	2	3290	6580
Ar-condicionado 58000 btu	1	5608	5608	TOTAL			46841
TOTAL			61434	(n) BIBLIOTECA			
(g) BLOCO DE LABORATÓRIOS 2				Lâmpada fluorescente	444	40	17760
Lâmpada fluorescente compacta	10	15	150	Lâmpada LED	2	8	16
Lâmpada fluorescente	46	20	920	Lâmpada fluorescente compacta	42	15	630
Lâmpada fluorescente	286	32	9152	Ar-condicionado cassete 24000 btu	8	2370	18960
Ar-condicionado 36000 btu	15	3290	49350	Ar-condicionado cassete 30000 btu	3	2500	7500
Ar-condicionado 80000 btu	1	7200	7200	Ar-condicionado cassete 18000 btu	2	1950	3900
Ar-condicionado 18000 btu	2	1550	3100	Ar-condicionado 24000 btu	5	2111	10555
Ar-condicionado Inverter 12000 btu	8	753,33	6026,64	Ar-condicionado 12000 btu	9	1085	9765
Ar-condicionado Inverter 24000 btu	3	1466,67	4400,01	Ar-condicionado 240000	2	20200	40400
TOTAL			80299	TOTAL			109486
(h) RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO				(p) RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA			
Lâmpada fluorescente	198	36	7128	Lâmpada fluorescente	268	36	9648
Lâmpada fluorescente	4	20	80	Lâmpada fluorescente	124	20	2480
Ar-condicionado Inverter 9000 btu	8	570	4560	Lâmpada LED	2	8	16

Ar-condicionado cassete 48000 btu	7	5000	35000	Ar-condicionado Inverter 12000 btu	1	753,33	753,33
Ar-condicionado 58000 btu	1	5200	5200				
Câmara Fria	2	15000	30000				
Câmara Fria	2	24000	48000				
TOTAL			90968	TOTAL			12897,33

Fonte: Autoria própria.

Tabela 29 - Levantamento simplificado de carga instalada dos prédios da universidade

LEVANTAMENTO SIMPLIFICADO DE CARGA INSTALADA					
Sistema	Quantidade	Potência Total (W)	Sistema	Quantidade	Potência Total (W)
(a) BLOCO DE AULAS 1			(i) GUARITA		
Iluminação	308	11207	Iluminação	14	510
Condicionadores de ar	20	65800	Condicionadores de ar	1	1466,67
TOTAL		77007	TOTAL		1977
(b) BLOCO DE AULAS 2			(j) SETOR DE TRANSPORTE		
Iluminação	308	11184	Iluminação	45	2295
Condicionadores de ar	18	53580	Condicionadores de ar	4	4340
TOTAL		64764	TOTAL		6635
(c) BLOCO DE AULAS 3			(k) ALMOXARIFADO		
Iluminação	410	11946	Iluminação	42	3364
Condicionadores de ar	24	66990	Condicionadores de ar	2	2170
TOTAL		78936	TOTAL		5534
(d) BLOCO DE PROFESSORES 1			(l) CENTRO DE CONVIVÊNCIA		
Iluminação	224	8960	Iluminação	163	3144
Condicionadores de ar	39	51135	Condicionadores de ar	6	45840
TOTAL		60095	TOTAL		48984
(e) BLOCO DE PROFESSORES 2			(m) BLOCO ADMINISTRATIVO		
Iluminação	234	8782	Iluminação	238	8840
Condicionadores de ar	37	47566,6	Condicionadores de ar	24	38001
TOTAL		56349	TOTAL		46841
(f) BLOCO DE LABORATÓRIOS 1			(n) BIBLIOTECA		
Iluminação	377	13091	Iluminação	488	18406
Condicionadores de ar	16	48343	Condicionadores de ar	29	91080
TOTAL		61434	TOTAL		109486
(g) BLOCO DE LABORATÓRIOS 2			(p) RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA		
Iluminação	342	10222	Iluminação	394	12144
Condicionadores de ar	29	70076,7	Condicionadores de ar	1	753,33
TOTAL		80299			
(h) RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO					
Iluminação	202	7208			
Condicionadores de ar	16	44760			
Câmara Fria	4	39000			
TOTAL		90968	TOTAL		12897

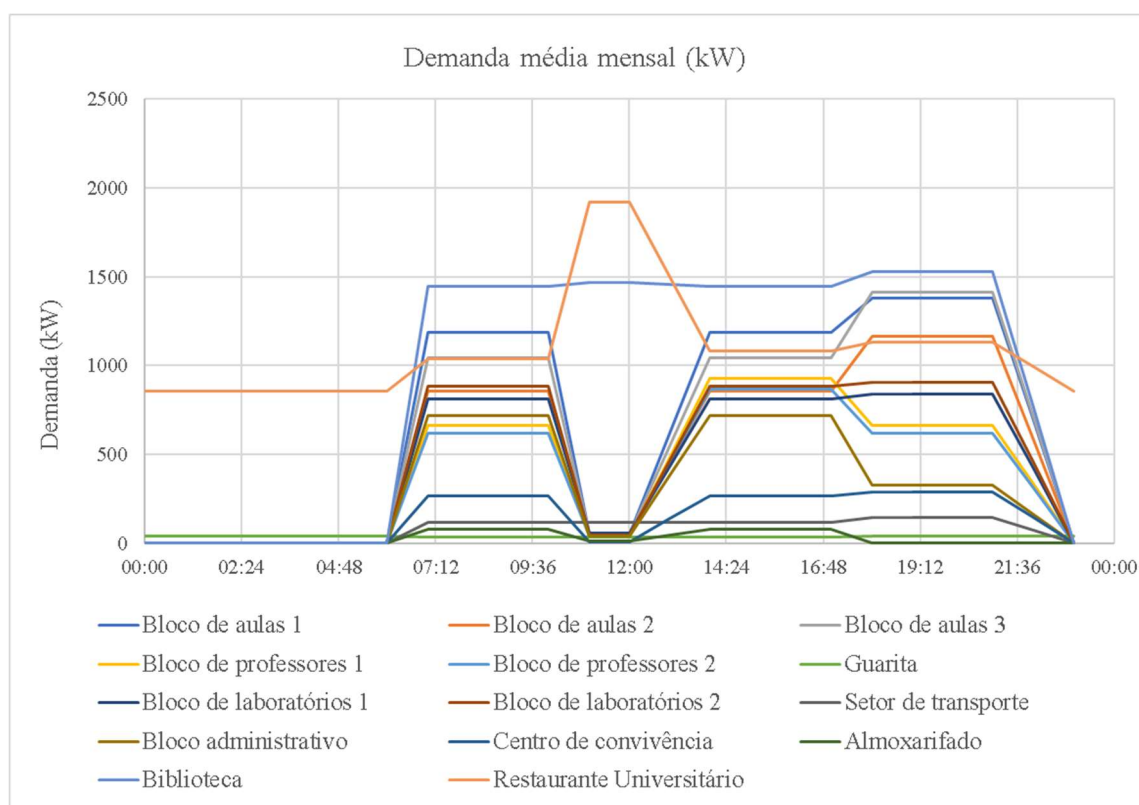
Fonte: Autoria própria.

4.2. ESTIMATIVAS DE DEMANDA E CONSUMO MENSAIS NÃO VALIDADOS DA UNIVERSIDADE

Os valores totais de potência instalada de cada prédio e de seus respectivos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, possibilitaram análises de consumo e demanda abordadas anteriormente no tópico 3.1.2 da metodologia, para estimativa de consumos e curvas de demanda dos prédios.

Conforme as análises discutidas na metodologia, foi possível obter o perfil de demanda mensal dos prédios internos ao campus universitário. O gráfico da Figura 30 ilustra as curvas de demanda média mensal para cada um dos prédios conforme os horários do dia.

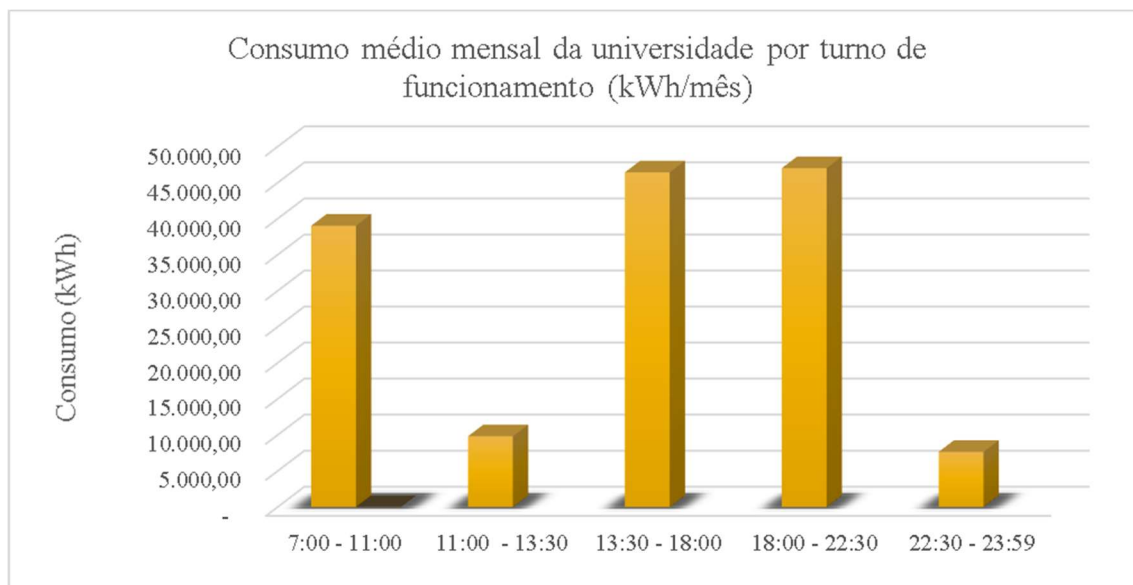
Figura 30 - Gráfico de demanda média mensal dos prédios da universidade



Fonte: Autoria própria.

Quanto ao consumo médio mensal da universidade, obteve-se como resultado o gráfico da Figura 31, ilustrando o consumo médio mensal total do campus de acordo com o turno de funcionamento. Vale ressaltar que as estimativas encontradas nas Figuras 30 e 31 foram desenvolvidas com base no conhecimento empírico sobre o funcionamento dos prédios, o que implicou numa tentativa de validação desses dados através do comparativo com as faturas de energia e geração da usina solar do campus.

Figura 31 - Gráfico de consumo médio mensal da universidade por turno de funcionamento



Fonte: Autoria própria.

Constatada a não equivalência entre os valores de consumo estimados e os valores reais coletados das documentações, como discutido no tópico 3.1.3 da metodologia, optou-se por um método alternativo de obtenção dos perfis de consumo e demanda dos prédios. A não equivalência dos valores teóricos e reais para o consumo total do campus não necessariamente implica que os resultados obtidos estejam inteiramente inconsistentes com a realidade, uma vez que a redução dos fatores de funcionamento dos equipamentos poderia trazer os valores para a realidade. No entanto, para alcançar de fato uma maior confiabilidade dos dados, é preferível que ocorra uma análise mais trabalhada dos fatores de funcionamento utilizados.

4.3. ESTIMATIVAS DE DEMANDA E CONTRIBUIÇÃO DOS BLOCOS DE AULA NO CONSUMO DA UNIVERSIDADE

Para obtenção de dados validados de consumo e demanda dos prédios do campus, foram coletadas informações documentais do funcionamento dos blocos, como abordado no tópico 3.1.4 da metodologia. Os prédios cujo estudo dos perfis de consumo e demanda foram possibilitados consistiram nos blocos de aula 1, 2 e 3 da universidade, os quais os horários de ocupação das salas puderam ser coletados em sua totalidade. Assim, a partir destas considerações as análises passam a se concentradas apenas nesses três prédios.

Para os três prédios houve a definição de novos fatores de funcionamento considerando cada dia da semana, e não mais a média semanal, sendo estabelecidos através desses dados a nova média de consumo mensal de cada prédio e seus respectivos perfis de demanda. A Tabela 30 aborda o comparativo entre os resultados de consumo médio mensal dos blocos de aula,

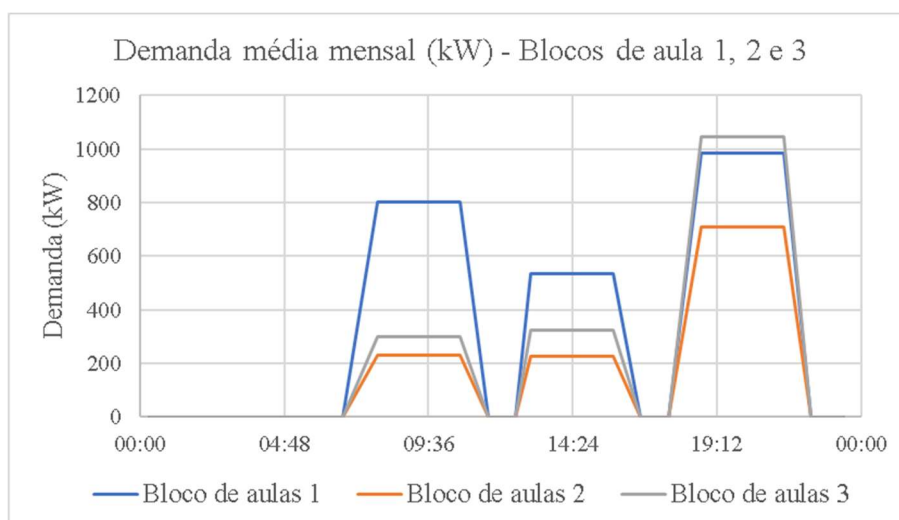
obtidos no primeiro e segundo procedimento metodológico. Enquanto as novas curvas obtidas de demanda média mensal de cada bloco de aula são apresentadas no gráfico da Figura 32.

Tabela 30 - Comparativo entre o consumo médio mensal dos blocos de aula através do método empírico e método por horários de aulas

Prédio	Consumo médio mensal não validado (kWh/mês)	Novo consumo médio mensal via análise alternativa (kWh/mês)
BLOCO DE AULAS 1	16.413,40	8.420,41
BLOCO DE AULAS 2	12.629,58	4.267,62
BLOCO DE AULAS 3	15.358,02	6.111,08

Fonte: Autoria própria.

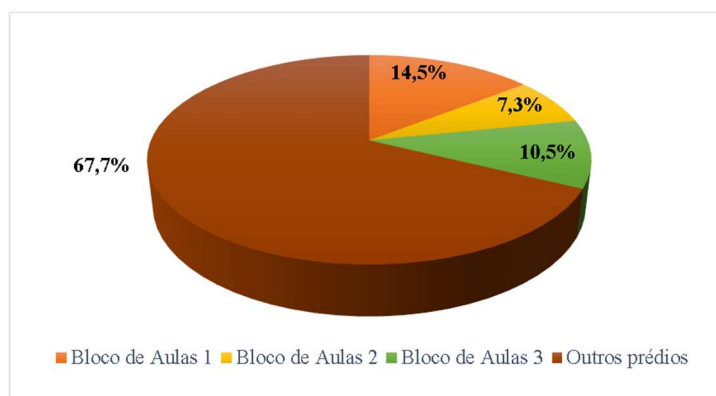
Figura 32 - Gráfico de curvas de demanda média mensal dos blocos de aula 1, 2 e 3



Fonte: Autoria própria.

A partir da nova análise realizada para os blocos de aula, obteve-se, conforme os procedimentos apresentados no tópico 3.1.5 da metodologia, as porcentagens de contribuição de cada bloco de aula no consumo total da universidade. A Figura 33 ilustra as proporções de consumo referente aos blocos de aula 1, 2 e 3 em relação ao consumo anual da universidade.

Figura 33 - Gráfico de contribuição dos blocos de aula 1, 2 e 3 no consumo anual da universidade



Fonte: Autoria própria.

Dessa maneira, de acordo com os resultados possibilitados pelas análises validadas, foram diagnosticados os perfis de demanda e as contribuições de consumo dos blocos de aula 1, 2 e 3. Alcançando-se parcialmente o objetivo inicial pretendido em relação a esses parâmetros, que incluíam não apenas os prédios de aula, mas todos os prédios do campus.

4.4. CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PRÉDIOS VIA RTQ-C: SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR

Os sistemas elétricos dos prédios do campus universitário foram avaliados utilizando como base o RTQ-C. Esteve em evidência para aplicação da regulamentação a análise dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, uma vez que não foi possível analisar a envoltória dos prédios. Para a envoltória de todos os prédios avaliados pelo RTQ-C optou-se pela consideração de um nível mínimo de eficiência, dada a obrigatoriedade da classificação desse sistema para o cálculo de classificação total de eficiência energética dos prédios.

A análise dos sistemas de iluminação, detalhada no tópico 3.2.3 da metodologia, resultou em níveis de eficiência A e B para a maioria dos prédios, com exceção do prédio da biblioteca, considerando apenas a classificação por DPI limite. Quando avaliados os pré-requisitos específicos desses sistemas, o não cumprimento do requisito de contribuição de luz natural na maioria dos ambientes internos, ocasionou uma redução do nível de eficiência de quase todos os prédios para C. Para a maioria das salas dos blocos de professores 1 e 2, o requisito de iluminação natural foi cumprido, resultando em nível médio final B de eficiência. O requisito de desligamento automático do sistema de iluminação também não foi cumprido para um dos ambientes do prédio da biblioteca, implicando igualmente em um nível de eficiência C.

O sistema de condicionamento de ar, discutido no tópico 3.2.4 da metodologia, foi avaliado com máximo nível de eficiência energética em todos os prédios nos quais sua metodologia de análise se aplicou, considerando que todos os aparelhos instalados se encontram catalogados com eficiência A pelo INMETRO. Considerou-se o cumprimento do pré-requisito específico do sistema para isolamento e espessura de tubulações em todos os prédios.

O Quadro 5 foi construído como forma de sintetização dos resultados da avaliação de envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar. Deste modo, pode-se considerar o alcance do objetivo proposto nesse trabalho de avaliação dos níveis de eficiência dos sistemas elétricos dos prédios.

Quadro 5 - Níveis de classificação de eficiência energética considerados para cada sistema via RTQ-C

Prédio	Envoltória	Sistema de iluminação		Sistema de condicionamento de ar
		DPI limite	DPI limite + pré-requisitos	
BLOCO DE AULAS 1	E	B	C	A
BLOCO DE AULAS 2	E	B	C	A
BLOCO DE AULAS 3	E	A	C	A
BLOCO DE PROFESSORES 1	E	A	B	A
BLOCO DE PROFESSORES 2	E	A	B	A
BLOCO DE LABORATÓRIOS 1	E	B	C	A
BLOCO DE LABORATÓRIOS 2	E	A	C	A
SETOR DE TRANSPORTE	E	B	C	A
BLOCO ADMINISTRATIVO	E	B	C	A
ALMOXARIFADO	E	A	C	A
CENTRO DE CONVIVÊNCIA	E	A	C	-
BIBLIOTECA	E	C	C	-
RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO	E	A	C	-

Fonte: Autoria própria.

Dada a análise do sistema de iluminação por DPI limite, os prédios da universidade que obtiveram níveis C e B poderiam vir a garantir um nível A de eficiência por este critério a partir da substituição das lâmpadas fluorescente por lâmpadas LED. Já quanto ao cumprimento dos pré-requisitos específicos, apenas a readequação do acionamento independente das luminárias próximas as aberturas, poderia solucionar as limitações de eficiência ao nível C. Para o prédio da biblioteca, além desta adequação, o nível A apenas seria atingido com a adequação também do desligamento automático das luminárias em seus ambientes maiores que 250 m².

Quanto ao sistema de condicionamento de ar, apesar de apresentar o nível máximo de eficiência para todos os prédios segundo os parâmetros do RTQ-C, mesmo todos os aparelhos sendo etiquetados com nível A de eficiência, a eficiência prática desse sistema poderia atingir um desempenho ainda mais elevado se todo os aparelhos instalados apresentassem uma tecnologia superior, como a *dual inverter*.

4.5. CLASSIFICAÇÃO TOTAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS PRÉDIOS VIA RTQ-C

A classificação total de eficiência dos prédios foi encontrada a partir da classificação de eficiência dos sistemas e dos parâmetros de área intrínsecos a cada prédio avaliado, conforme detalhado no tópico 3.2.5 da metodologia. Como resultado, foi possível obter os valores

resultantes da aplicação da eq. 1 (equação PT do RTQ-C) e os respectivos níveis de eficiência energética correspondentes de cada prédio, conforme mostra a Tabela 31.

Tabela 31 - Classificação total de eficiência energética por prédio sem considerar bonificação

Prédio	Resultado da equação PT	Classificação total de eficiência energética
BLOCO DE AULAS 1	3,616	B
BLOCO DE AULAS 2	3,692	B
BLOCO DE AULAS 3	3,592	B
BLOCO DE PROFESSORES 1	3,800	B
BLOCO DE PROFESSORES 2	3,800	B
BLOCO DE LABORATÓRIOS 1	3,592	B
BLOCO DE LABORATÓRIOS 2	3,469	C
SETOR DE TRANSPORTE	4,609	A
BLOCO ADMINISTRATIVO	3,639	B
ALMOXARIFADO	4,453	B

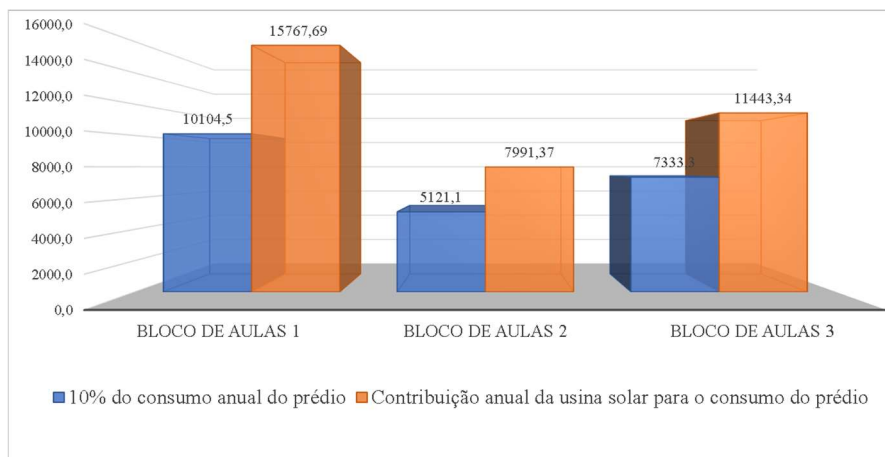
Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que os níveis de eficiência energética dos prédios estimados na Tabela 32 não consideraram nenhuma pontuação de bonificação para aplicação da equação PT, sendo os resultados de sua utilização discutidos a seguir.

4.6. CLASSIFICAÇÃO TOTAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS BLOCOS DE AULA CONSIDERANDO OBTENÇÃO DE PONTUAÇÃO BÔNUS.

Conforme abordado no tópico 3.2.6 da metodologia, o cálculo de classificação final de eficiência energética considerando bonificação, pôde-se estimar apenas para os blocos de aula 1, 2 e 3, dada a consideração de que os dados de consumo validados foram apenas os destes prédios. No que se refere a condição de obtenção da pontuação de bonificação por geração de energia por fonte renovável, o comparativo entre os valores que caracterizam a obtenção da pontuação pra os blocos de aula, estão apresentados na Figura 34. É possível visualizar os valores de contribuição anual da usina para cada prédio superando os valores referentes a 10% de seus consumos anuais.

Figura 34 – Gráfico de verificação do cumprimento das condições para obtenção de bonificação para os blocos de aulas 1, 2 e 3



Fonte: Autoria própria.

Como consequência da obtenção da pontuação bônus para os três prédios, houve a reaplicação da equação PT considerando-a. Assim, o resultado da reaplicação da equação PT do RTQ-C é ilustrado da Tabela 32, seguido do novo nível obtido de eficiência energética total de cada prédio. Para fins comparativos, construiu-se o Quadro 6, confrontando as classificações de eficiência energética calculadas com e sem a pontuação de bonificação, e comprovando o aumento do nível B para o A, após a reaplicação da equação PT.

Tabela 32 - Nova classificação final de eficiência energética dos blocos de aula 1, 2 e 3

Prédio	Novo resultado da equação PT	Nova classificação total de eficiência energética
BLOCO DE AULAS 1	4,616	A
BLOCO DE AULAS 2	4,692	A
BLOCO DE AULAS 3	4,592	A

Fonte: Autoria própria.

Quadro 6 - Comparativo entre níveis de eficiência totais dos prédios de aula com e sem pontuação de bonificação

Prédio	Classificação total de eficiência energética sem bonificação	Classificação total de eficiência energética com bonificação
BLOCO DE AULAS 1	B	A
BLOCO DE AULAS 2	B	A
BLOCO DE AULAS 3	B	A

Fonte: Autoria própria.

Assim, verificou-se a contribuição da geração da usina solar fotovoltaica para os níveis totais de eficiência dos prédios através dos resultados discutidos na Tabela 32 e Quadro 6, bem como pretendido nos objetivos deste trabalho.

4.7. TRABALHOS ACEITOS E PUBLICADOS

Um resultado adicional obtido durante as etapas de realização do trabalho constitui-se pelo desenvolvimento de artigos. Foram elaborados um total de três artigos, que se encontram diretamente relacionados aos dados e análises apresentadas neste trabalho.

O primeiro trabalho, intitulado como “Proposta Para Eficiência Energética Do Campus UFERSA Caraúbas Através Da Substituição De Dispositivos E Geração De Energia De Usina Solar Fotovoltaica” (OLIVEIRA; OLIVEIRA; FREITAS, 2020), apresenta uma perspectiva para eficiência energética do campus universitário como resultado da substituição de luminárias e condicionadores de ar por modelos mais eficientes, e da contribuição da usina de energia solar instalada no campus. Ao final do trabalho apresentam-se as porcentagens teóricas de redução no consumo de energia elétrica da universidade e a análise de viabilidade econômica para implementação da proposta. O trabalho foi apresentado e publicado nos anais do VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar² (CBENS) no ano de 2020, compondo a subárea de impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis.

O segundo artigo desenvolvido possui título “*Energy Efficiency Analysis in Buildings of a University Campus Using the PROCEL RTQ-C*” (OLIVEIRA; FILHO; FREITAS, 2021), tendo como proposta a classificação de eficiência energética dos prédios de salas de aula do campus UFERSA Caraúbas conforme o RTQ-C, com foco na avaliação dos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação, e na contribuição da usina de energia solar do campus. O trabalho foi apresentado na conferência internacional INDUSCON³ (2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications), em agosto de 2021, desenvolvida pela seção sul do Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos - IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) no Brasil, e pelo capítulo da Sociedade de Aplicações Industriais – IAS (*Industry Applications Society*) da seção sul. A publicação do artigo se deu em setembro de 2021 e pode ser acessado na plataforma IEEE Xplore⁴.

Finalmente, o último artigo desenvolvido, de título “*Energy efficiency diagnosis and improvements for electrical systems in Brazilian university buildings using RTQ-C regulation*” (OLIVEIRA; FILHO; FREITAS, 2021), possui como principal proposta a avaliação de eficiência energética utilizando o RTQ-C para três prédios universitários de funções distintas, considerando o diagnóstico do cenário real de eficiência dos prédios confrontado a um cenário com implementação de melhorias nos sistemas de iluminação. O trabalho foi apresentado em

² Anais do evento disponíveis em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/issue/view/2>.

³ Mais informações sobre o evento disponíveis em: <https://induscon.org/>

⁴ Banco de dados de com acesso em: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

outubro de 2021 na conferência internacional EPEC⁵ (2021 *Electrical Power and Energy Conference*) da seção Toronto do IEEE Canadá, com temática em energias renováveis e redes inteligentes para futuras cidades sustentáveis. A publicação do artigo foi submetida também à plataforma IEEE *Xplore*.

⁵ Informações sobre a conferência disponíveis em: <https://epec2021.ieee.ca/>

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da finalização do estudo, foi possível destacar o cumprimento satisfatório dos objetivos propostos para o atual trabalho. Constatou-se o cumprimento do objetivo principal do trabalho, referente à proposta de classificação da eficiência energética dos prédios da UFERSA campus Caraúbas-RN via regulamentação do programa PROCEL edifica: RTQ-C. Para os objetivos específicos, cumpriu-se parcialmente o primeiro, uma vez que houve o diagnóstico de consumo e demanda dos prédios, e estimou-se a parcela de contribuição deles para o consumo total da universidade, porém, isto ocorreu apenas para os prédios de sala de aula de forma validada.

Foi possível estimar os índices de eficiência energética dos sistemas de iluminação para todos os prédios, e os de condicionamento de ar para a pelo menos 80% deles. Outro objetivo proposto referiu-se a estimativa da classificação de eficiência energética dos prédios, com e sem a contribuição de geração da usina de energia solar do campus. Do modo que, foram classificados 10 prédios sem considerar bonificação, enquanto apenas os prédios de salas de aula puderam ser classificados considerando também a bonificação. Enquanto isto, a identificação de possíveis problemáticas dos prédios em relação a eficiência energética pôde ser verificada ao longo das análises de eficiência dos sistemas elétricos, principalmente para o sistema de iluminação, uma vez que, conforme o RTQ-C nenhum dos prédios possuiu classificação A de eficiência energética.

Como teoria base da construção do estudo atual, foram considerados os conhecimentos acerca das certificações de eficiência energética, a nível nacional e internacional. Relatou-se brevemente sobre as vantagens da utilização de certificações e programas de eficiência energética em edificações, destacando, em seguida, a criação e funcionamento de três delas: a certificação LEED, o processo AQUA-HQE, e o programa PROCEL edifica. Para este trabalho, evidenciou-se a utilização dos parâmetros do programa PROCEL edifica, devido a sua maior flexibilidade de aplicação teórica em relação aos das outras certificações.

Para a realização das análises desta pesquisa, considerou-se como principal fonte teórica a regulamentação RTQ-C, utilizada como parâmetro de avaliação de edificações para obtenção da etiqueta PBE Edifica de eficiência energética, do programa PROCEL edifica. Deste modo, foi abordado o passo a passo da classificação dos sistemas de iluminação, envoltória e condicionamento de ar conforme o RTQ-C, bem como o processo de obtenção da classificação total de eficiência de um edifício.

Quanto as metodologias utilizadas, na primeira etapa metodológica do trabalho foram estimados perfis de demanda e consumo para os prédios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus de Caraúbas. Inicialmente foi realizado um levantamento de carga instalada de iluminação e condicionamento de ar para todas as construções. Em seguida realizou-se um estudo do consumo e demanda dos prédios do campus universitário, o qual verificou-se determinada inconsistência na etapa de validação. Uma nova abordagem de estudo de consumo e demanda foi aplicada apenas aos blocos de aulas, apresentando uma maior confiabilidade que o primeiro, e sendo aproveitado para as posteriores análises do trabalho.

O segundo processo metodológico aplicado consistiu no diagnóstico de eficiência energética dos prédios do campus conforme o RTQ-C. Foram avaliados os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar de quase todos os prédios, encontrando seus respectivos equivalentes numéricos. Em seguida, foram coletados todos os dados de áreas necessários para aplicação da equação de pontuação total do RTQ-C. Considerou-se uma eficiência mínima para envoltória dos prédios para fins de aplicação da equação de classificação total, sendo possível encontrar o nível de eficiência energética dos prédios, sem considerar pontuações de bonificação. Finalmente, como última etapa, foi realizada a reaplicação da equação de classificação total aos blocos de aulas, considerando uma pontuação de bonificação obtida pela contribuição da geração de energia solar do campus, onde foi possível obter um nível mais elevado de eficiência energética para os prédios.

Nos resultados do trabalho foram apresentados as tabelas e gráficos obtidos a partir da aplicação dos procedimentos da metodologia. São apresentados os dados completos e simplificados do levantamento de carga instalada de todos os prédios, bem como as curvas de demanda média mensal estimadas para cada um. O consumo médio mensal da universidade também foi apresentado de acordo com os horários de funcionamento, porém, ao realizar o comparativo do consumo encontrado com o valor real apontado pelas faturas de energia da universidade, verificou-se que o valor teórico era aproximadamente 3 vezes maior que o valor real.

Ainda como resultado do estudo, foram apresentadas novas estimativas de demanda e consumo para os blocos de aula 1, 2 e 3, conforme a análise via horário de ocupação das salas. A partir das estimativas, obteve-se a porcentagem de contribuição desses prédios para o consumo total de energia elétrica da universidade, que posteriormente foram utilizadas na verificação da obtenção da pontuação de bonificação do RTQ-C, por geração renovável de energia, para esses prédios.

Quanto ao diagnóstico de eficiência energética dos sistemas elétricos dos prédios do campus, foram apresentados os níveis de eficiência encontrados. Para a envoltória foi apresentado apenas o nível mínimo de eficiência, de forma arbitrária, apenas para garantir a aplicação da equação de pontuação total do RTQ-C, uma vez que não foi possível avaliar este sistema para os edifícios. Os sistemas de iluminação dos prédios tiveram sua classificação por DPI limite apresentada, com índices relativamente altos, variando entre os níveis A e B, e com apenas um prédio com eficiência nível C nesta categoria.

Contudo, quando avaliados os pré-requisitos específicos dos sistemas de iluminação, a classificação dos prédios apresentou um nível C, com apenas duas exceções. Para os sistemas de condicionamento de ar, não foram classificadas as edificações com centrais de condicionamento de ar e de modelo cassete. Os pré-requisitos específicos do sistema de condicionamento de ar do RTQ-C foram considerados cumpridos para fins de análise, e de acordo com níveis de eficiência energética dos aparelhos, todos os prédios foram registrados com nível máximo de eficiência para o sistema de condicionamento de ar.

A classificação total de cada prédio de acordo com a aplicação da equação de pontuação total do RTQ-C foi apresentada, com os respectivos níveis de eficiência energética obtidos. Foi possível constatar que, mesmo utilizando o pior caso de eficiência para envoltória de todos os prédios, um nível C para o sistema de iluminação da maioria dos edifícios, e desconsiderando a possibilidade de obtenção de pontuação de bonificação, foram obtidos níveis totais de eficiência relativamente altos para os prédios. Diagnosticando-se 8 prédios com nível B de eficiência total, 1 com nível A e 1 com nível C.

No que se refere a possibilidade de obtenção da pontuação bônus para o cálculo de classificação final do RTQ-C, apenas os prédios de salas de aula ofereceram dados o suficiente para realização das análises necessárias. Desta forma, foi constatada a possibilidade de obtenção dessa pontuação pelos prédios de aulas 1, 2 e 3 a partir de suas porcentagens de contribuição no consumo da universidade, e da geração anual da usina de energia solar instalada no campus. A equação de pontuação total foi reaplicada para os três prédios e foram verificados novos níveis de eficiência energética, superiores aos encontrados sem considera bonificação. Assim, o nível máximo de eficiência energética foi atingido para os blocos de aula, quando comprovada a obtenção do ponto de bonificação através de geração renovável de energia.

Como propostas para trabalhos futuros, destaca-se a possibilidade da realização da análise da envoltória dos edifícios de acordo com o RTQ-C, a expansão das análises realizadas neste trabalho para outros *campus* universitários, e a adaptação e aplicação da metodologia da regulamentação para prédios privados. Como propostas complementares ao trabalho atual,

sugere-se a análise de viabilidade financeira da implementação de melhorias dos sistemas e de obtenção da etiqueta PBE edifica, bem como o desenvolvimento das análises realizadas utilizando o método da simulação do RTQ-C em comparativo ao método prescritivo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Tarifa de escassez hídrica: como funciona a nova bandeira da conta de luz**. Exame, 2021. Disponível em: <https://exame.com/brasil/conta-de-luz-bandeira-tarifaria-escassez-hidrica-como-funciona/>. Acesso em: 15 set. 2021.

BENINCA, Letiane; CARDOSO, Grace Tibério; RODRIGUES, Cristiana. Labelling of the Energetic Efficiency on a Case Study in Passo Fundo, RS, Brazil, in Accordance with the Mentioned Methods under the Respective Brazilian Regulation—RTQ-C. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 12, p. 355-361, 2018.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Comercial Relatório Brasil - Relatório Executivo**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2008. 97 p.

ERNST & YOUNG [EY]. **Sustainable buildings in Brazil**. [S.l.]: GBC Brasil, 2013.

FERREIRA, J. et al. **Referencial técnico de certificações de edifícios do setor de serviços - Processo AQUA**,” Versão 0. Fundação Vanzolini, Certivéa, São Paulo, 2007.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **AQUA-HQE**, 2021. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/produto/aqua-hqe/>. Acesso em: 15 set. 2021.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **7 vantagens dos prédios verdes para a sociedade e meio ambiente**. GBC Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/7-vantagens-dos-predios-verdes-para-a-sociedade-e-meio-ambiente/>. Acesso em: 13 ago. 2021.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Leadership in energy and environmental design**. GBC Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed>. Acesso em: 14 set. 2020.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Sobre nós**. 2021. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/sobre-nos/>. Acesso em: 13 ago. 2021.

GUIMARÃES, Daniel. **Sustentabilidade**. Meio Sustentável, 2019. Disponível em: <https://meiosustentavel.com.br/sustentabilidade/>. Acesso em: 2 mar. 2021.

HAMILTON, Ian. et al. **Global Status Report for Buildings and Construction—Towards a Zero-Emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector**. 2021.

INMETRO - Instituto nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (RTQ-C)**. Brasil, Rio de Janeiro, 2013.

LAMBERTS R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Pro-Livros, 2004.

MEIRA, Marcelo Martins et al. Redução de impactos ambientais na operação do museu da língua portuguesa após certificação LEED. In: **Anais do VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**. p. 75.

MELLO, Elis Almeida Medeiros de et al. **Proposta de metodologia para avaliação do desempenho da gestão sustentável de edifícios em fase de uso e operação com base na certificação AQUA-HQE™: estudo de caso do escritório verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional – Ano Base 2019**. 2020.

NETO, José da Costa Carvalho et al. **Diretrizes para Obtenção de Classificação Nível A para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 2014. 48 p.

NETO, José da Costa Carvalho et al. **Manual RTQ-C 4.1: Manual para Aplicação do RTQ-C**. Versão 4. 2017. 213 p.

OLIVEIRA, D. C. P.; FILHO, M. C. P.; FREITAS, A. A. A. Energy Efficiency Analysis in Buildings of a University Campus Using the PROCEL RTQ-C. **2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)**, 2021, pp. 710-715, doi: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529606.

OLIVEIRA, D.C.P.; OLIVEIRA, M. V. da S.; FREITAS, A. A. A. Proposta para eficiência energética do campus UFERSA Caraúbas através da substituição de dispositivos e geração de energia de usina solar fotovoltaica. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2020**. 2020.

PBE EDIFICA. Conhecendo a etiqueta PBE Edifica. PBE Edifica, c 2020. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>. Acesso em: 15 jan. 2020.

PROCEL. **Edificações**. PROCEL Info, 2020. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={82BBD82C-FB89-48CA-98A9-620D5F9DBD04}>. Acesso em: 20 out. 2020.

PROCEL. **PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética nas Edificações**. PROCEL Info, c 2006. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.

PROCEL. **Selo Procel Edificações**. Procel Info, 2020. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=fE85A0ACC-8C62-465D-9EBD-47FF3BAECDAEg#2>. Acesso em: 10 jan. 2021.

PROCEL. **Selo Procel Edificações**. PROCEL Info, 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>. Acesso em: 15 jan. 2021.

PROCEL. **Selo Procel.** PROCEL Info, 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ROMÉRO; M. d. A.; REIS, L. B. d. **Eficiência energética em edifícios**. Série Sustentabilidade, vol. 1, 2012.

SCARSI, V. H. et al. A Automação no Processo de Economia de Energia e Certificação LEED de um Edifício de Faculdade - Estudo de Caso. **XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**, p. 845-849, 2017.

SPINELLI, Rodrigo et al. Energy Efficiency Assessment of the Involvement of an Educational Building using the Prescription Method (RTQ-C). **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 11, p. 499-510, 2019.

TRENTO, Ana Carolina Batista. Certificação Ambiental na Construção Civil: Sistema Aqua no Âmbito das Obras do Parque Madureira/RJ. **Gestão e Gerenciamento**, v. 12, n. 12, p. 1-11, 2020.

UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. **Tour Virtual 360° Na Ufersa Caraúbas**. UFERSA Caraúbas, 2021. Disponível em: <https://caraubas.ufersa.edu.br/tour360/#>. Acesso em: 13 out. 2021.

UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. **Usina Solar Caraúbas**. UFERSA Caraúbas, 2018. Disponível em: <https://caraubas.ufersa.edu.br/usina-solar/>. Acesso em: 11 jan. 2021.

UGREEN. **Green building**. Ugreen, 2019. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/green-building/>. Acesso em: 18 set. 2021.

US GREEN BUILDING COUNCIL. **US green building council**. US Green Building Council, 1998.

VALOR SETORIAL. **Construção Civil – Base sustentável – Foco em novos processos e materiais**. Set. 2011.

APÊNDICE A- ANÁLISES EMPÍRICAS DE CONSUMO E DEMANDA DOS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE

ALMOXARIFADO							
Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,4	1.345,60	5,38	1	2.170,00	8,68
11:00 - 13:30	2,5	0,2	672,80	1,68	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,4	1.345,60	6,06	1	2.170,00	9,77
18:00 - 22:30	4,5	0	-	-	0	-	-
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				13,12			18,45

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas as luzes das salas estão acesas e parte do galpão

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas as luzes das salas estão acesas

Dayane Oliveira:
Considerando que existem apenas condicionadores de ar nas salas

Dayane Oliveira:
Fora do horário de funcionamento

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas as luzes das salas estão acesas e parte do galpão

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	14,06
11:00 - 13:30	1,68
13:30 - 18:00	15,82
18:00 - 22:30	-
22:30 - 23:59	-
Total	31,56

BLOCO DE AULAS 1							
Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,7	7.844,90	31,38	0,7	46.060,00	184,24
11:00 - 13:30	2,5	0,2	2.241,40	5,60	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,7	7.844,90	35,30	0,7	46.060,00	207,27
18:00 - 22:30	4,5	0,9	10.086,30	45,39	0,8	52.640,00	236,88
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				117,67			628,39

Dayane Oliveira:
Considerando as aulas do BCT e corredores com luzes apagadas

Dayane Oliveira:
Funcionamento reduzido devido ao horário de almoço

Dayane Oliveira:
Aulas BCT/Elétrica e luzes dos corredores ligadas

Dayane Oliveira:
Considerando as aulas do BCT /elétrica e corredores com luzes apagadas

Período	Consumo (kWh/dia)
7:00 - 11:00	215,62
11:00 - 13:30	5,60
13:30 - 18:00	242,57
18:00 - 22:30	282,27
22:30 - 23:59	-
Total	746,06

Dayane Oliveira:
Considerando as aulas da civil e mecânica corredores com luzes apagadas

Dayane Oliveira:
Funcionamto reduzido devido ao horário de almoço

BLOCO DE AULAS 2

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,6	6.710,40	26,84	0,6	32.148,00	128,59
11:00 - 13:30	2,5	0,2	2.236,80	5,59	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,6	6.710,40	30,20	0,6	32.148,00	144,67
18:00 - 22:30	4,5	0,9	10.065,60	45,30	0,8	42.864,00	192,89
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				107,93			466,15

Dayane Oliveira:
Considerando as aulas da civil e mecânica corredores com luzes apagadas

Dayane Oliveira:
Aulas Mec/Elétrica/civil e luzes dos corredores ligadas

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	155,43
11:00 - 13:30	5,59
13:30 - 18:00	174,86
18:00 - 22:30	238,18
22:30 - 23:59	-
Total	574,07

Dayane Oliveira:
Considerando as aulas de Português e corredores com luzes apagadas

Dayane Oliveira:
Funcionamto reduzido devido ao horário de almoço

BLOCO DE AULAS 3

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,6	7.167,60	28,67	0,6	40.194,00	160,78
11:00 - 13:30	2,5	0,2	2.389,20	5,97	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,6	7.167,60	32,25	0,6	40.194,00	180,87
18:00 - 22:30	4,5	0,9	10.751,40	48,38	0,8	53.592,00	241,16
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				115,28			582,81

Dayane Oliveira:
Aulas BCT/Elétrica e luzes dos corredores ligadas

Dayane Oliveira:
Considerando as aulas do Português e corredores com luzes apagadas

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	189,45
11:00 - 13:30	5,97
13:30 - 18:00	213,13
18:00 - 22:30	289,55
22:30 - 23:59	-
Total	698,09

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas as
luzes das salas estão acesas e
corredor apagado

Dayane Oliveira:
Considerando o
horário de almoço

BLOCO ADMINISTRATIVO

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,7	6.188,00	24,75	0,7	26.600,70	106,40
11:00 - 13:30	2,5	0,2	1.768,00	4,42	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,7	6.188,00	27,85	0,7	26.600,70	119,70
18:00 - 22:30	4,5	0,4	3.536,00	15,91	0,3	11.400,30	51,30
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				72,93			277,41

Dayane Oliveira:
Iluminação de corredores e
numero minimo de salas (O
funcionamento do bloco é
concentrado na parte da
manhã e tarde)

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas
as luzes das salas estão
acesas e corredor apagado

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	131,15
11:00 - 13:30	4,42
13:30 - 18:00	147,55
18:00 - 22:30	67,21
22:30 - 23:59	-
Total	350,34

Dayane Oliveira:
Considerando o
funcionamento das salas
com corredores apagados

Dayane Oliveira:
Considerando o
horário de almoço

Dayane Oliveira:
considerando o funcionamento das
salas sem intervalos de almoço e jantar

BIBLIOTECA

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,6	11.043,60	44,17	0,6	54.648,00	218,59
11:00 - 13:30	2,5	0,65	11.963,90	29,91	0,6	54.648,00	136,62
13:30 - 18:00	4,5	0,6	11.043,60	49,70	0,6	54.648,00	245,92
18:00 - 22:30	4,5	0,8	14.724,80	66,26	0,6	54.648,00	245,92
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				190,04			847,04

Dayane Oliveira:
Iluminação das salas e
corredores

Dayane Oliveira:
Considerando o
funcionamento das salas
com corredores apagados

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	262,77
11:00 - 13:30	166,53
13:30 - 18:00	295,61
18:00 - 22:30	312,18
22:30 - 23:59	-
Total	1.037,09

Dayane Oliveira:
Considerando que metade do bloco corresponde ao auditório que é utilizado em eventos, e que apenas as salas e cantina estão com luzes acesas

Dayane Oliveira:
Considerando o horário de almoço

CENTRO DE CONVIVÊNCIA

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,25	786,00	3,14	0,25	11.460,00	45,84
11:00 - 13:30	2,5	0,1	314,40	0,79	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,25	786,00	3,54	0,25	11.460,00	51,57
18:00 - 22:30	4,5	0,5	1.572,00	7,07	0,25	11.460,00	51,57
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				14,54			148,98

Dayane Oliveira:
Iluminação completa (desconsiderando o auditório)

Dayane Oliveira:
Considerando apenas as luzes das salas

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	48,98
11:00 - 13:30	0,79
13:30 - 18:00	55,11
18:00 - 22:30	58,64
22:30 - 23:59	-
Total	163,52

Dayane Oliveira:
Considerando a iluminação externa desligada

Dayane Oliveira:
Considerando a iluminação externa desligada

GUARITA

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,5	255,00	1,02	1	1.466,67	5,87
11:00 - 13:30	2,5	0,5	255,00	0,64	1	1.466,67	3,67
13:30 - 18:00	4,5	0,5	255,00	1,15	1	1.466,67	6,60
18:00 - 22:30	4,5	1	510,00	2,30	1	1.466,67	6,60
22:30 - 6:59	8,5	1	510,00	4,34	1	1.466,67	12,47
Total				9,44			35,20

Dayane Oliveira:
Todas as luzes ligadas

Dayane Oliveira:
Considerando a iluminação externa desligada

Dayane Oliveira:
Considerando o funcionamento contínuo da guarita

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	6,89
11:00 - 13:30	4,30
13:30 - 18:00	7,75
18:00 - 22:30	8,90
22:30 - 23:59	16,80
Total	44,64

BLOCO DE LABORATÓRIOS 1							
Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,6	7.854,60	31,42	0,6	29.005,80	116,02
11:00 - 13:30	2,5	0,2	2.618,20	6,55	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,6	7.854,60	35,35	0,6	29.005,80	130,53
18:00 - 22:30	4,5	0,7	9.163,70	41,24	0,6	29.005,80	130,53
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				114,55			377,08

Dayane Oliveira: Considerando aulas BCT e Engenharias	Dayane Oliveira: Almoço
---	-----------------------------------

Dayane Oliveira: Considerando aulas BCT e Engenharias, e iluminação dos corredores	Dayane Oliveira: Considerando aulas BCT e Engenharias
--	---

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	147,44
11:00 - 13:30	6,55
13:30 - 18:00	165,87
18:00 - 22:30	171,76
22:30 - 23:59	-
Total	491,62

BLOCO DE LABORATÓRIOS 2							
Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,5	5.111,00	20,44	0,5	35.038,35	140,15
11:00 - 13:30	2,5	0,2	2.044,40	5,11	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,5	5.111,00	23,00	0,5	35.038,35	157,67
18:00 - 22:30	4,5	0,6	6.133,20	27,60	0,5	35.038,35	157,67
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				76,15			455,50

Dayane Oliveira: Considerando aulas Elétrica/mec/civil	Dayane Oliveira: Almoço
--	-----------------------------------

Dayane Oliveira: Considerando aulas Elétrica/mec e iluminação dos corredores	Dayane Oliveira: Considerando aulas Elétrica/mec/civil
--	--

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	160,60
11:00 - 13:30	5,11
13:30 - 18:00	180,67
18:00 - 22:30	185,27
22:30 - 23:59	-
Total	531,65

Considerando que os professores estão em aula

Almoço dos professores. Iluminação de corredores e sala de impressão

Considerando que metade das salas estão ocupadas

Considerando que todos foram almoçar

BLOCO DE PROFESSORES 1

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,5	4.480,00	17,92	0,5	25.567,50	102,27
11:00 - 13:30	2,5	0,2	1.792,00	4,48	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,7	6.272,00	28,22	0,7	35.794,50	161,08
18:00 - 22:30	4,5	0,5	4.480,00	20,16	0,5	25.567,50	115,05
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				70,78	378,40		

Os professores do turno noturno estão em aula

Chegada dos professores elétrica e mecânica

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	120,19
11:00 - 13:30	4,48
13:30 - 18:00	189,30
18:00 - 22:30	135,21
22:30 - 23:59	-
Total	449,18

Dayane Oliveira:
Considerando que os professores estão dando aula

Dayane Oliveira:
Almoço dos professores. Iluminação de corredores e sala de impressão

BLOCO DE PROFESSORES 2

Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,5	4.391,00	17,56	0,5	23.783,30	95,13
11:00 - 13:30	2,5	0,2	1.756,40	4,39	0	-	-
13:30 - 18:00	4,5	0,7	6.147,40	27,66	0,7	33.296,62	149,83
18:00 - 22:30	4,5	0,5	4.391,00	19,76	0,5	23.783,30	107,02
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				69,38	351,99		

Dayane Oliveira:
Considerando que os professores estão em sala de aula

Dayane Oliveira:
Chegada dos professores inglês e libras

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	112,70
11:00 - 13:30	4,39
13:30 - 18:00	177,50
18:00 - 22:30	126,78
22:30 - 23:59	-
Total	421,37

RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO										
Periodo	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)	Fator de carga câmara fria	câmara fria (kWh)	Energia de Câmara Fria (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,5	3.604,00	14,42	0,1	4.476,00	17,90	1	39.000,00	156,00
11:00 - 13:30	2,5	0,5	3.604,00	9,01	1	44.760,00	111,90	1	39.000,00	97,50
13:30 - 18:00	4,5	0,5	3.604,00	16,22	0,15	6.714,00	30,21	1	39.000,00	175,50
18:00 - 22:30	4,5	0,8	5.766,40	25,95	0,15	6.714,00	30,21	1	39.000,00	175,50
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-	1	39.000,00	331,50
Total				65,59			190,23			936,00

Dayane Oliveira:
Considerando a iluminação interna, do restaurante e externa

Dayane Oliveira:
Considerando a iluminação interna

Dayane Oliveira:
Considerando o período de funcionamento em 15% desse horário

Dayane Oliveira:
Considerando o período de funcionamento em 15% desse horário

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	188,32
11:00 - 13:30	218,41
13:30 - 18:00	221,93
18:00 - 22:30	231,66
22:30 - 23:59	331,50
Total	1.191,82

SETOR DE TRANSPORTE							
Período	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (W)	Energia de Iluminação (kWh)	Fator de carga de ar-condicionado	Ar condicionado (Wh)	Energia de Ar-Condicionado (kWh)
7:00 - 11:00	4	0,4	918,00	3,67	1	4.340,00	17,36
11:00 - 13:30	2,5	0,4	918,00	2,30	1	4.340,00	10,85
13:30 - 18:00	4,5	0,4	918,00	4,13	1	4.340,00	19,53
18:00 - 22:30	4,5	1	2.295,00	10,33	1	4.340,00	19,53
22:30 - 6:59	8,5	0	-	-	0	-	-
Total				20,43			67,27

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas as luzes das salas estão acesas

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas as luzes das salas estão acesas

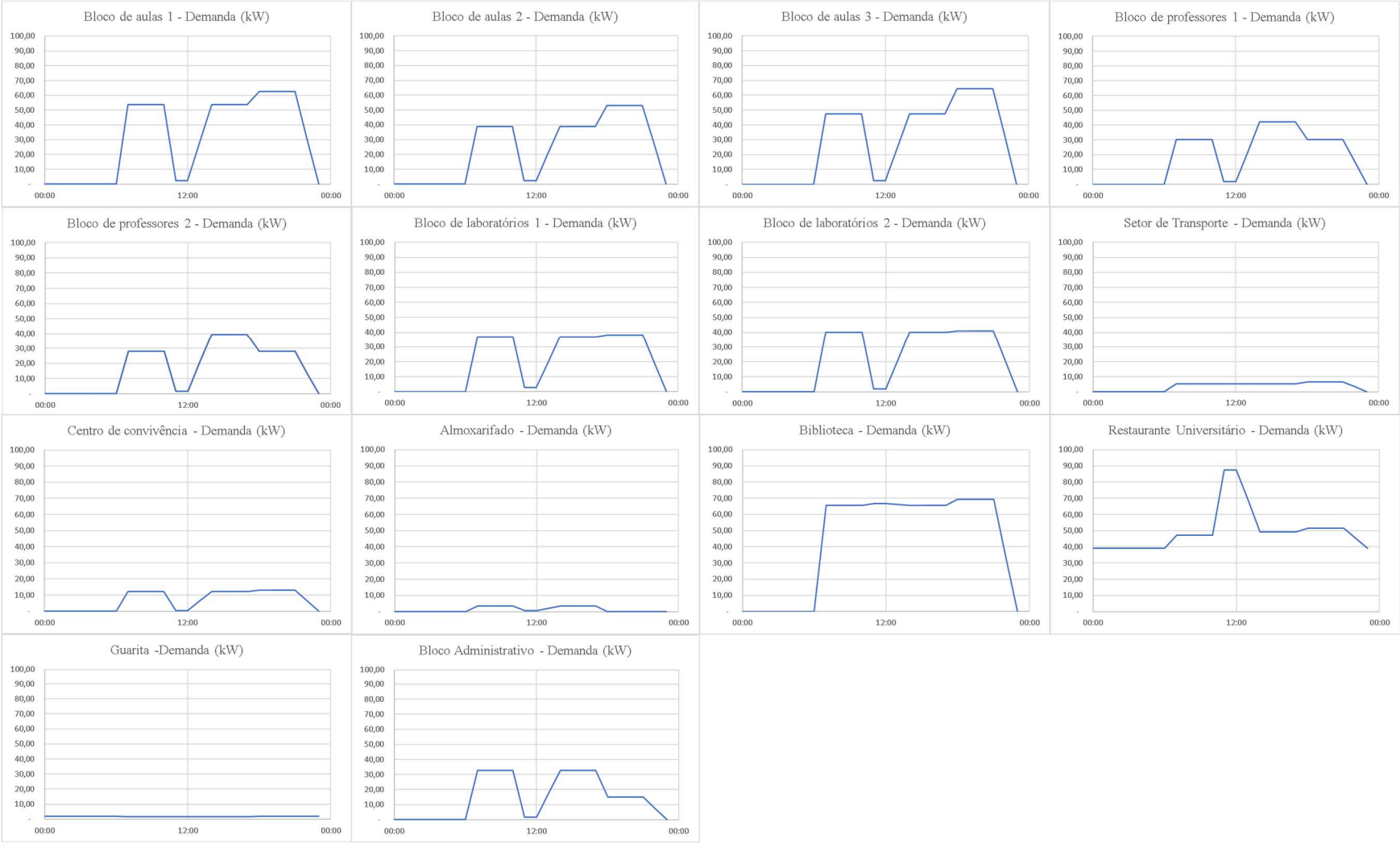
Dayane Oliveira:
Considerando que existem apenas condicionadores de ar nas salas e o bloco funciona também em horário de almoço do campus

Dayane Oliveira:
Considerando a iluminação externa e interna do bloco

Dayane Oliveira:
Considerando que apenas as luzes das salas estão acesas

Período	Consumo (kWh)
7:00 - 11:00	21,03
11:00 - 13:30	13,15
13:30 - 18:00	23,66
18:00 - 22:30	29,86
22:30 - 23:59	-
Total	87,70

APÊNDICE C- CURVAS DE DEMANDA MÉDIA DIÁRIA ESTIMADAS PARA OS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE



APÊNDICE D - CONSUMO MÉDIO DIÁRIO ESTIMADO PARA OS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE



APÊNDICE E- ANÁLISE DE CONSUMO E DEMANDA DO BLOCO DE AULAS 2 VIA HORÁRIOS DE AULA

BLOCO DE AULAS 2 (15 SALAS)					
	S	T	Q	Q	S
Horários	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas
7:55 - 9:45	0	3	3	3	2
9:45 - 11:35	3	5	4	4	2
13:00 - 14:50	2	7	0	5	0
14:50 - 16:40	3	6	2	6	0
18:40-20:30	9	10	12	8	8
20:30-22:20	9	10	10	8	5

Segunda – feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,1	1,12	3,91	0,10	5,36	18,75
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,17	1,86	6,90	0,10	5,36	19,82
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,6	6,71	24,83	0,50	26,79	99,12
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				35,63968			137,7006

Terça – feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,27	2,98	10,44	0,16	8,57	30,00
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,43	4,85	17,93	0,33	17,68	65,42
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,67	7,46	27,59	0,57	30,54	113,00
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				55,95728			208,4262

Quarta – feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,23	2,61	9,13	0,20	10,72	37,51
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,07	0,75	2,76	0,07	3,57	13,22
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,73	8,20	30,35	0,63	33,76	124,89
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				42,23824	175,61738		

Quinta-feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,23	2,61	9,13	0,20	10,72	37,51
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,37	4,10	15,17	0,27	14,47	53,53
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,53	5,96	22,07	0,43	23,04	85,25
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				46,37632	176,2782		

Sexta-feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,13	1,49	5,22	0,13	7,14	25,00
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,43	4,85	17,93	0,33	17,86	66,08
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				23,15088	91,086		

Horários	Mensal		
	Energia de iluminação (kWh/Mês)	Energia de condicionadores de ar (kWh/mês)	Consumo Total (kWh/mês)
7:55 - 11:35	162,71	639,73	802,44
11:36 - 12:59	0	0	0
13:00 - 16:40	183,87	653,55	837,42
16:41 - 18:39	0	0	0
18:40-22:20	527,88	2099,89	2627,77
22:21 - 7:54	0	0	0
Total	874,46	3393,17	4267,62

Período	Mensal (kW)	Diário				
		Segunda-feira (kW)	Terça-feira (kW)	Quarta-feira (kW)	Quinta-feira (kW)	Sexta-feira (kW)
00:20	0	0	0	0	0	0
01:15	0	0	0	0	0	0
02:10	0	0	0	0	0	0
03:05	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0
04:55	0	0	0	0	0	0
05:50	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	0
07:55	229,27	6,48	11,56	13,33	13,33	8,64
08:50	229,27	6,48	11,56	13,33	13,33	8,64
09:45	229,27	6,48	11,56	13,33	13,33	8,64
10:40	229,27	6,48	11,56	13,33	13,33	8,64
11:35	0	0	0	0	0	0
12:30	0	0	0	0	0	0
13:00	226,33	7,22	22,53	4,32	18,57	0
13:55	226,33	7,22	22,53	4,32	18,57	0
14:50	226,33	7,22	22,53	4,32	18,57	0
15:45	226,33	7,22	22,53	4,32	18,57	0
16:40	0	0	0	0	0	0
17:35	0	0	0	0	0	0
18:40	710,21	33,50	38,00	41,96	29,00	22,71
19:35	710,21	33,50	38,00	41,96	29,00	22,71
20:30	710,21	33,50	38,00	41,96	29,00	22,71
21:25	710,21	33,50	38,00	41,96	29,00	22,71
22:20	0	0	0	0	0	0
23:25	0	0	0	0	0	0

APÊNDICE F- ANÁLISE DE CONSUMO E DEMANDA DO BLOCO DE AULAS 3 VIA HORÁRIOS DE AULA

BLOCO DE AULAS 3 (15 SALAS)					
	S	T	Q	Q	S
Horários	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas	Nº de Aulas
7:55 - 9:45	2	4	4	5	3
9:45 - 11:35	3	4	4	5	3
13:00 - 14:50	4	4	5	5	2
14:50 - 16:40	3	4	4	5	2
18:40-20:30	8	11	12	13	8
20:30-22:20	8	12	12	13	8

Segunda – feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,17	1,99	6,97	0,10	6,70	23,45
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,23	2,79	10,31	0,20	13,40	49,57
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,53	6,37	23,57	0,43	28,81	106,58
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				40,85532			179,60019

Terça - feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,27	3,19	11,15	0,17	11,39	39,86
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,27	3,19	11,79	0,17	11,39	42,14
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,77	9,16	33,89	0,67	44,88	166,07
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				56,82314			248,06397

Quarta - feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,27	3,19	11,15	0,17	11,39	39,86
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,30	3,58	13,26	0,20	13,40	49,57
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,80	9,56	35,36	0,70	46,89	173,50
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				59,76982			262,93575

Quinta-feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,33	3,98	13,94	0,23	15,41	53,93
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,33	3,98	14,73	0,23	15,41	57,01
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,87	10,35	38,31	0,77	51,58	190,85
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				66,97724			301,78995

Sexta - feira							
Horários	Duração (h)	Fator de carga de iluminação	Iluminação (kW)	Energia de iluminação (kWh)	Fator de carga de condicionadores de ar	Condicionadores de ar (kW)	Energia de condicionadores de ar (kWh)
7:55 - 11:35	3,5	0,20	2,39	8,36	0,15	10,05	35,17
11:36 - 12:59	1,4	0	0	0	0	0	0
13:00 - 16:40	3,7	0,13	1,59	5,89	0,10	6,70	24,79
16:41 - 18:39	2	0	0	0	0	0	0
18:40- 22:20	3,7	0,53	6,37	23,57	0,43	28,81	106,58
22:21 - 7:54	9,7	0	0	0	0	0	0
Total				37,829			166,53714

Horários	Mensal		
	Energia de iluminação (kWh/Mês)	Energia de condicionadores de ar (kWh/mês)	Consumo Total (kWh/mês)
7:55 - 11:35	221,74	826,72	1048,46
11:36 - 12:59	0	0	0
13:00 - 16:40	240,74	959,23	1199,97
16:41 - 18:39	0	0	0
18:40-22:20	665,21	3197,43	3862,65
22:21 - 7:54	0	0	0
Total	1127,69	4983,39	6111,08

Período	Mensal (kW)	Diário				
		Segunda-feira (kW)	Terça-feira (kW)	Quarta-feira (kW)	Quinta-feira (kW)	Sexta-feira (kW)
00:20	0	0	0	0	0	0
01:15	0	0	0	0	0	0
02:10	0	0	0	0	0	0
03:05	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0
04:55	0	0	0	0	0	0
05:50	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	0
07:55	299,56	8,69	14,57	14,57	19,39	12,44
08:50	299,56	8,69	14,57	14,57	19,39	12,44
09:45	299,56	8,69	14,57	14,57	19,39	12,44
10:40	299,56	8,69	14,57	14,57	19,39	12,44
11:35	0	0	0	0	0	0
12:30	0	0	0	0	0	0
13:00	324,32	16,19	14,57	16,98	19,39	8,29
13:55	324,32	16,19	14,57	16,98	19,39	8,29
14:50	324,32	16,19	14,57	16,98	19,39	8,29
15:45	324,32	16,19	14,57	16,98	19,39	8,29
16:40	0	0	0	0	0	0
17:35	0	0	0	0	0	0
18:40	1.043,96	35,18	54,04	56,45	61,94	35,18
19:35	1.043,96	35,18	54,04	56,45	61,94	35,18
20:30	1.043,96	35,18	54,04	56,45	61,94	35,18
21:25	1.043,96	35,18	54,04	56,45	61,94	35,18
22:20	0	0	0	0	0	0
23:25	0	0	0	0	0	0

APÊNDICE G - APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO PT DO RTQ-C PARA OS PRÉDIOS DA UNIVERSIDADE

RTQ-C PONTUAÇÃO TOTAL: ALMOXARIFADO		+
$EqNumEnv := 1$	$AC := 20.74$	
$EqNumV := 0$	$AU := 526.42$	
$EqNumDPI := 3$	$APT := 505.68$	
$EqNumCA := 5$	$ANC := 0$	
$b := 0$		
$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [4.353]$		
$A := PT > 4.5 = [0]$ $B := PT > 3.5 = [1]$ $C := PT > 2.5 = [1]$ $D := PT > 1.5 = [1]$ $E := PT < 1.5 = [0]$		

RTQ-C PONTUAÇÃO TOTAL: BLOCO DE AULAS 2		
$EqNumEnv := 1$	$AC := 626.4$	
$EqNumV := 0$	$AU := 962.15$	
$EqNumDPI := 3$	$APT := 355.75$	
$EqNumCA := 5$	$ANC := 0$	
$b := 0$		
$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.692]$		
$A := PT > 4.5 = [0]$ $B := PT > 3.5 = [1]$ $C := PT > 2.5 = [1]$ $D := PT > 1.5 = [1]$ $E := PT < 1.5 = [0]$		

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO DE AULAS 3

$EqNumEnv := 1$ $AC := 808.24$
 $EqNumV := 0$ $AU := 1200.42$
 $EqNumDPI := 3$ $APT := 392.18$
 $EqNumCA := 5$ $ANC := 0$
 $b := 0$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.592]$$

$A := PT > 4.5 = [0]$
 $B := PT > 3.5 = [1]$
 $C := PT > 2.5 = [1]$
 $D := PT > 1.5 = [1]$
 $E := PT < 1.5 = [0]$

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO ADMINISTRATIVO

$EqNumEnv := 1$ $AC := 542.91$
 $EqNumV := 0$ $AU := 855.84$
 $EqNumDPI := 3$ $APT := 312.93$
 $EqNumCA := 5$ $ANC := 0$
 $b := 0$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.639]$$

$A := PT > 4.5 = [0]$
 $B := PT > 3.5 = [1]$
 $C := PT > 2.5 = [1]$
 $D := PT > 1.5 = [1]$
 $E := PT < 1.5 = [0]$

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO DE LABORATÓRIOS 1

$EqNumEnv := 1$ $AC := 751.34$
 $EqNumV := 0$ $AU := 1115.55$
 $EqNumDPI := 3$ $APT := 364.21$
 $EqNumCA := 5$ $ANC := 0$
 $b := 0$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.592]$$

$A := PT > 4.5 = [0]$
 $B := PT > 3.5 = [1]$
 $C := PT > 2.5 = [1]$
 $D := PT > 1.5 = [1]$
 $E := PT < 1.5 = [0]$

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO DE LABORATÓRIOS 2

$$EqNumEnv := 1 \quad AC := 934.64$$

$$EqNumV := 0 \quad AU := 1204.52$$

$$EqNumDPI := 3 \quad APT := 269.88$$

$$EqNumCA := 5 \quad ANC := 0$$

$$b := 0$$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.469]$$

$$\begin{aligned} A &:= PT > 4.5 = [0] \\ B &:= PT > 3.5 = [0] \\ C &:= PT > 2.5 = [1] \\ D &:= PT > 1.5 = [1] \\ E &:= PT < 1.5 = [0] \end{aligned}$$

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO DE PROFESSORES 1

$$EqNumEnv := 1 \quad AC := 707.89$$

$$EqNumV := 0 \quad AU := 943.41$$

$$EqNumDPI := 4 \quad APT := 235.52$$

$$EqNumCA := 5 \quad ANC := 0$$

$$b := 0$$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.8]$$

$$\begin{aligned} A &:= PT > 4.5 = [0] \\ B &:= PT > 3.5 = [1] \\ C &:= PT > 2.5 = [1] \\ D &:= PT > 1.5 = [1] \\ E &:= PT < 1.5 = [0] \end{aligned}$$

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO DE PROFESSORES 2

$$EqNumEnv := 1 \quad AC := 707.89$$

$$EqNumV := 0 \quad AU := 943.41$$

$$EqNumDPI := 4 \quad APT := 235.52$$

$$EqNumCA := 5 \quad ANC := 0$$

$$b := 0$$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [3.8]$$

$$\begin{aligned} A &:= PT > 4.5 = [0] \\ B &:= PT > 3.5 = [1] \\ C &:= PT > 2.5 = [1] \\ D &:= PT > 1.5 = [1] \\ E &:= PT < 1.5 = [0] \end{aligned}$$

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
SETOR DE TRANSPORTE

$EqNumEnv := 1$

$AC := 41.08$

$EqNumV := 0$

$AU := 266.31$

$EqNumDPI := 3$

$APT := 255.23$

$EqNumCA := 5$

$ANC := 0$

$b := 0$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [4.609]$$

$A := PT > 4.5 = [1]$

$B := PT > 3.5 = [1]$

$C := PT > 2.5 = [1]$

$D := PT > 1.5 = [1]$

$E := PT < 1.5 = [0]$

APÊNDICE H- REAPLICAÇÃO DA EQUAÇÃO PT DO RTQ-C PARA OS BLOCOS DE AULA 2 E 3 DA UNIVERSIDADE

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO DE AULAS 2

$$EqNumEnv := 1 \quad AC := 626.4$$

$$EqNumV := 0 \quad AU := 962.15$$

$$EqNumDPI := 3 \quad APT := 355.75$$

$$EqNumCA := 5 \quad ANC := 0$$

$$b := 1$$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [4.692]$$

$$A := PT > 4.5 = [1]$$

$$B := PT > 3.5 = [1]$$

$$C := PT > 2.5 = [1]$$

$$D := PT > 1.5 = [1]$$

$$E := PT < 1.5 = [0]$$

RTQ-C
PONTUAÇÃO TOTAL:
BLOCO DE AULAS 3

$$EqNumEnv := 1 \quad AC := 808.24$$

$$EqNumV := 0 \quad AU := 1200.42$$

$$EqNumDPI := 3 \quad APT := 392.18$$

$$EqNumCA := 5 \quad ANC := 0$$

$$b := 1$$

$$PT := 0.3 \cdot \left[\left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + 0.3 \cdot [EqNumDPI] + 0.4 \cdot \left[\left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right] + b = [4.592]$$

$$A := PT > 4.5 = [1]$$

$$B := PT > 3.5 = [1]$$

$$C := PT > 2.5 = [1]$$

$$D := PT > 1.5 = [1]$$

$$E := PT < 1.5 = [0]$$